

ALMA MATER STUDIORUM

UNIVERSITA' DI BOLOGNA

---

**Dottorato di Ricerca in  
Discipline delle Attività Motorie e Sportive**

**XX ciclo**

**Sede amministrativa: Università di Bologna**

**Coordinatore: Prof. Salvatore Squatrito**

**Caratteristiche Morfometriche e Genotipiche degli  
atleti d'élite praticanti Ginnastica Artistica**

**Tesi di Dottorato**

**SSD: sigla BIO/8**

Presentata da:  
Dott.ssa Myosotis Massidda

Relatore:  
Prof. ssa Patricia Brasili

Co-Relatore:  
Dott.ssa Carla Maria Calò

---

Anno dell'esame finale: 2008



## SOMMARIO

### **PARTE PRIMA: SEZIONE TEORICA**

<b>1. LA GINNASTICA E LA SUA EVOLUZIONE.....</b>	<b>&lt;&lt; pag.7</b>
1.1 LA GINNASTICA.....	<< pag.9
1.2 LE DISCIPLINE OLIMPICHE.....	<< pag.11
1.2.1 La ginnastica ritmica.....	<< pag.11
1.2.2 Il trampolino elastico.....	<< pag.11
1.2.3 La ginnastica artistica.....	<< pag.12
1.3 L'EVOLUZIONE DELLA GINNASTICA ARTISTICA	<< pag.13
1.3.1 Contesto e Finalità Sociali.....	<< pag.14
1.3.2 Regolamentazioni.....	<< pag.16
1.3.3 Progresso Tecnologico.....	<< pag.19
1.3.4 Ricerca Scientifica e Professionale.....	<< pag.22
<b>2. LA GINNASTICA ARTISTICA DI ALTA SPECIALIZZAZIONE...</b>	<b>&lt;&lt; pag.25</b>
2.1 INDIVIDUAZIONE DEL MODELLO DI PRESTAZIONE.....	<< pag.28
2.1.1 Il Modello di prestazione “globale” nella Ginnastica Artistica..	<< pag.29
2.2 CENNI SULLA COMPOSIZIONE DEGLI ESERCIZI.....	<< pag.31
2.3 IL NUOVO SISTEMA DI VALUTAZIONE DELLA PERFORMANCE.....	<< pag.33
<b>3. IL GINNASTA D'ELITE.....</b>	<b>&lt;&lt; pag.35</b>
3.1 LA STRUTTURA FISICA E LA PERFORMANCE DI SUCCESSO.....	<< pag.37
3.2 LA MORFOLOGIA.....	<< pag.38
3.3 STATURA E PESO.....	<< pag.39
3.4 IL SOMATOTIPO.....	<< pag.41
3.5 LE PROPORZIONI CORPOREE.....	<< pag.42
3.6 LA COMPOSIZIONE CORPOREA.....	<< pag.44
3.7 CRESCITA E MATURAZIONE.....	<< pag.49
<b>4. ASPETTI GENETICI LEGATI ALLA PERFORMANCE SPORTIVA.....</b>	<b>&lt;&lt; pag.51</b>
4.1 SPORT, GENETICA E LIMITI DELLE PRESTAZIONI UMANE.....	<< pag.53

4.2 ESPRESSIONE GENICA E VARIABILITA' NELLA POPOLAZIONE SPORTIVA.....	<< pag.54
4.2.1 Variabilità nella sequenza del DNA.....	<< pag.54
4.2.2 Variabilità nella prestazione Umana.....	<< pag.56
4.3 CENNI STORICI SULLE DIFFERENZE GENETICHE IN ATLETI D'ELITE.	<< pag.58
4.4 GENI ASSOCIATI ALLA PERFORMANCE SPORTIVA D'ELITE.....	<< pag.61
4.4.1 Il Gene ACE.....	<< pag.64
4.4.2 Il Gene ACTN-3.....	<< pag.67

## **PARTE SECONDA: SEZIONE SPERIMENTALE**

<b>PREMESSA.....</b>	<< pag.71
<b>5. STRUTTURA FISICA E COMPOSIZIONE CORPOREA IN GINNASTE D'ELITE.....</b>	<< pag.73
5.1 INTRODUZIONE.....	<< pag.75
5.2 MATERIALI E METODI.....	<< pag.76
5.3 RISULTATI.....	<< pag.78
5.3.1 L'effetto dell'età.....	<< pag.78
5.3.2 Confronto rispetto a non-sportive.....	<< pag.80
5.3.3 Confronto con atlete d'elite di altre discipline sportive.....	<< pag.84
5.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI.....	<< pag.88
<b>6. STRUTTURA FISICA E COMPOSIZIONE CORPOREA IN GINNASTI D'ELITE.....</b>	<< pag.97
6.1 INTRODUZIONE.....	<< pag.99
6.2 MATERIALI E METODI.....	<< pag.100
6.3 RISULTATI.....	<< pag.101
6.3.1 L'effetto dell'età.....	<< pag.101
6.3.2 Confronto rispetto a non-sportivi.....	<< pag.103
6.3.3 Confronto con atleti d'elite di altre discipline sportive.....	<< pag.106
6.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI.....	<< pag.111
<b>7. CARATTERISTICHE ANTROPOMETRICHE E PUNTEGGIO DELLA PERFORMANCE IN GINNASTE D'ELITE.....</b>	<< pag.119
7.1 INTRODUZIONE.....	<< pag.121
7.2 MATERIALI E METODI.....	<< pag.123



7.3 RISULTATI.....	<< pag.124
7.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI.....	<< pag.130
<b>8. ACCRESCIMENTO, COMPOSIZIONE CORPOREA E SOMATOTIPO IN GIOVANI GINNASTE MILITANTI IN DIFFERENTI LIVELLI AGONISTICI.....</b>	<b>&lt;&lt; pag.137</b>
8.1 INTRODUZIONE.....	<< pag.139
8.2 MATERIALI E METODI.....	<< pag.140
8.3 RISULTATI.....	<< pag.142
8.3.1 <i>Studio Trasversale: Comparazione dei dati.....</i>	<< pag.142
8.3.2 <i>Studio Longitudinale Breve: Comparazione dei dati.....</i>	<< pag.143
8.3.3 <i>Frequenza della bassa statura e dell'incidenza di crescita                     modesta tra ginnaste di livello Regionale e Nazionale.....</i>	<< pag.146
8.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI.....	<< pag.148
<b>9. POLIMORFISMO DEL GENE ACE IN GINNASTI D'ELITE.....</b>	<b>&lt;&lt; pag.153</b>
9.1 INTRODUZIONE.....	<< pag.155
9.2 MATERIALI E METODI.....	<< pag.156
9.3 RISULTATI.....	<< pag.159
9.3.1 <i>Analisi delle frequenze alleliche e genotipiche nel Campione                     Generale.....</i>	<< pag.159
9.3.2 <i>Confronto con altri sportivi d'elite.....</i>	<< pag.161
9.3.3 <i>Confronto tra ginnasti maschi e femmine.....</i>	<< pag.163
9.3.4 <i>Distribuzione allelica e genotipica nei maschi.....</i>	<< pag.164
9.3.5 <i>Distribuzione allelica e genotipica nelle femmine.....</i>	<< pag.164
9.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI.....	<< pag.165
<b>10. POLIMORFISMO DEL GENE ACTN-3 IN GINNASTI D'ELITE</b>	<b>&lt;&lt; pag.169</b>
10.1 INTRODUZIONE.....	<< pag.171
10.2 MATERIALI E METODI.....	<< pag.173
10.3 RISULTATI.....	<< pag.174
10.3.1 <i>Analisi delle frequenze alleliche e genotipiche nel Campione                     Generale.....</i>	<< pag.175
10.3.2 <i>Confronto con altri sportivi d'elite.....</i>	<< pag.176
10.3.3 <i>Confronto tra ginnasti maschi e femmine.....</i>	<< pag.178
10.3.4 <i>Distribuzione allelica e genotipica nei maschi.....</i>	<< pag.178
10.3.5 <i>Distribuzione allelica e genotipica nelle femmine.....</i>	<< pag.180
10.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI.....	<< pag.182
<b>11. RELAZIONI TRA FENOTIPO E GENETIPO IN GINNASTI D'ELITE.....</b>	<b>&lt;&lt; pag.185</b>

11.1 INTRODUZIONE.....	<< pag.187
11.2 MATERIALI E METODI.....	<< pag.189
11.3 RISULTATI.....	<< pag.190
11.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI.....	<< pag.195
<b>12. CONCLUSIONI.....</b>	<b>&lt;&lt; pag.213</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>&lt;&lt; pag.123</b>

*La Ginnastica e la sua evoluzione*



## 1. LA GINNASTICA e LA SUA EVOLUZIONE

Appare corretto, nell'intraprendere il presente lavoro, procedere ad una breve sintesi delle origini della Ginnastica Artistica, che non può prescindere dalla storia di quella , più generale e complessa, della Ginnastica di cui fa parte. Il fine non è quello di esplorarne una esaustiva analisi storica, quanto di definire i significati e i concetti che storicamente ne hanno delineato i tratti distintivi all'interno delle società in cui si è sviluppata.

La ginnastica, sin dalle sue origini, come testimoniato dalle raffigurazioni risalenti al secondo millennio avanti Cristo<sup>1</sup> e che precedono le culture Indiane, egiziane, cinesi e quelle della stessa Grecia, ha da sempre rappresentato l'insieme delle attività sportive, tanto da divenire sinonimo del movimento stesso del corpo, associato a esperienze formative ed educativo - pedagogiche dell'uomo.

### 1.1 LA GINNASTICA

La **Ginnastica** rientra senza dubbio nel panorama degli sport più spettacolari ed antichi della storia dell'uomo. L'esame di alcuni reperti archeologici egizi, risalenti al 2.000 a.C., testimonia lo sviluppo di questa affascinante disciplina sportiva (*Zetaruk, 2000*).

Si trovano riscontri della ginnastica soprattutto nell'antica Grecia e ancor prima, nella civiltà Cretese (*Jokl, 1980*). La cultura ellenica concepiva la ginnastica come un'attività caratterizzata da un'alta valenza educativa, per questo motivo si praticava all'interno del *ginnasio*, luogo nel quale i giovani cittadini ricevevano anche insegnamenti di filosofia, musica e letteratura (*Di Donato, 1989*). Alcune testimonianze raccontano di competizioni ginniche contraddistinte da prove acrobatiche e le cui tracce si rinvenivano nelle antiche anfore greche (*Golden, 1998*).

Nobiltà e cavalleria sono i caratteri essenziali della ginnastica nel 1800, che, come nell'antica Grecia, è principalmente scuola di morale e come tale si ricollega ai più elevati concetti dello sport, ne è partecipe e nello stesso tempo fondamento.

L'evoluzione nel tempo di quelle attività ha condotto progressivamente alla differenziazione ed alla specializzazione, evidenziando la necessità che l'atto ginnico fosse

---

<sup>1</sup> Una testimonianza è rappresentata dal famoso affresco di Knosso che mostra la cerimonia del volteggio del toro.

regolamentato, programmato ed uniformato per poter essere messo a confronto e consentire la competizione tra atleti.

La pratica sportiva nasce all'ombra della ginnastica, essa fu la prima, o comunque, la più importante attività sportiva che abbia avuto una struttura che gli garantisse un seguito ed uno sviluppo certo negli anni.

Ad Atene di Olimpiadi si parlava già da tempo quando, nel Gennaio del 1893, il Bollettino n.3 del C.I.O. (*Comité International Olympique*)<sup>2</sup> elencava la Ginnastica tra gli sport ammessi alla prima Olimpiade (*Jacomuzzi, 1976*).

Da quel momento ebbe inizio l'evoluzione tecnica, la diversificazione strutturale dei movimenti ginnici e la codificazione degli attrezzi che condusse alla nascita dei settori caratterizzanti la Ginnastica dei giorni nostri.

Nacque così la G.A.M. (*Ginnastica Artistica Maschile*), più tardi la G.A.F. (*Ginnastica Artistica Femminile*) e successivamente la G.R. (*Ginnastica Ritmica*), che crearono i rispettivi Comitati Tecnici Internazionali di Settore.

Queste specializzazioni determinarono una divisione, nel tempo sempre più accentuata, tra la ginnastica d'élite e la ginnastica di massa, che oggi recluta un numero considerevole di praticanti.

Attualmente la Ginnastica è disciplinata a livello Internazionale dalla ***Federation International de Gymnastique (F.I.G.)***, a livello Europeo dalla ***European Union of Gymnastics (U.E.G.)*** ed a livello Nazionale dalla **Federazione Ginnastica d'Italia (F.G.I.)**, costituita quest'ultima nel 1881.

La F.I.G. comprende e regola sei discipline sportive distinte tra loro: Ginnastica Artistica, Ginnastica Ritmica, Trampolino Elastico, Ginnastica Aerobica e Ginnastica Generale; le prime tre sono discipline olimpiche, viceversa le ultime due, anche se caratterizzate da circuiti competitivi a diffusione mondiale, non rientrano tra gli sport ammessi ai Giochi Olimpici.

---

<sup>2</sup> Il C.I.O. è un'organizzazione non governativa creata da Pierre De Couberten con l'incarico di organizzare le prime Olimpiadi dell'era Moderna. Dal 2001 il C.I.O. è Presieduto dal belga Jaques Rogge.

## **1.2 LE DISCIPLINE OLIMPICHE**

### **1.2.1 *La Ginnastica Ritmica***

*La ginnastica ritmica* è disciplina olimpica ufficiale dal 1984 (Los Angeles). Si sviluppò nel XIX secolo dagli stili ginnici tedesco e svedese (Aparo, 1999).

E' riservata alle donne e, a differenza della ginnastica artistica, prevede esclusivamente l'esecuzione di esercizi al corpo libero, eseguiti con accompagnamento musicale e mediante l'ausilio di 5 piccoli attrezzi (la palla, il nastro, le clavette, la fune ed il cerchio) (Calavalle, 1990).

Il contenuto tecnico della ginnastica ritmica pone in risalto gli aspetti legati alla danza, al ritmo, alla componente estetica del movimento ed all'espressione coreografica (Aparo 1999), rispetto ad altri fattori quali forza, velocità e potenza.

Il primo Campionato del Mondo ebbe luogo nel 1963 a Budapest, Ungheria, limitatamente alle prove individuali; le prove di gruppo vennero aggiunte nel 1967 in occasione del Campionato del Mondo di Copenhagen, Danimarca.

### **1.2.2 *Il Trampolino Elastico***

*Il trampolino elastico* è una disciplina sportiva nata alla fine del XIX secolo, è ufficialmente uno sport Olimpico dall'edizione di Sidney 2000. La sua storia, oltre che recente, è poco conosciuta, la sua identità è ancora in parte in discussione e la sua pratica si configura come una valida alternativa alle evoluzioni acrobatiche della ginnastica artistica. E'uno sport nel contempo impegnativo ed avvincente: i ginnasti saltano su di un tappeto elastico eseguendo innumerevoli movimenti in attitudine di volo ed a parecchi metri d'altezza dal suolo. Gli elementi tecnici sono caratterizzati da evoluzioni acrobatiche con rotazioni simultanee sui vari assi corporei. Il Trampolino elastico contempla competizioni individuali e di trampolino sincronizzato. Queste ultime, che includono la partecipazione di due atleti che si esibiscono in contemporanea su trampolini diversi, pongono in evidenza, oltre al fattore acrobatico, l'aspetto coreografico e la sincronizzazione dei movimenti.

### **1.2.3 *La Ginnastica Artistica***

La ginnastica artistica è l'unica disciplina presente fin dalla prima edizione dei giochi olimpici, anche se solo per il settore maschile. Quello femminile, con il concorso a

squadre, fece la sua prima comparsa alle Olimpiadi di Amsterdam del 1928. Questa diversificazione in Settori, Maschile e Femminile, si caratterizza non soltanto per le tipologie di attrezzi che vengono utilizzati (6 Maschili: Volteggio, Parallele, Cavallo con maniglie, Sbarra, Anelli e Corpo Libero; 4 Femminili: Volteggio, Parallele asimmetriche, Trave e Corpo Libero) ma anche per l'eterogeneità delle capacità motorie richieste ai ginnasti durante la performance. Infatti, nella sezione Maschile si enfatizza la componente della forza muscolare che caratterizza gli esercizi, viceversa in quella Femminile le doti richieste si estrinsecano nell'acrobatica, nella capacità di equilibrio e nell'armonia del movimento.

La maggior parte degli autori che tratta di ginnastica artistica, insiste con il considerare come caratteristica comune alle differenti sezioni, quella della destrezza; ad esempio Antonio dal Monte (*Dal Monte, 1969*) la descrive come una disciplina sportiva di destrezza nella quale la forza muscolare è determinante.

Ecco quindi accompagnare alla destrezza, la forza:

- la prima come capacità di compiere determinati movimenti nel modo più preciso, rapido e armonico, o, per usare le parole dello stesso Dal Monte, come *“qualità fisica caratterizzata principalmente dalla sollecitazione degli apparati neuro-sensoriali che concorrono nel realizzare atti motori estremamente precisi e complessi”* (*Dal Monte, 1969*);
- la seconda ad indicare come la ginnastica artistica nelle varie specialità, contribuisca ad attivare e sviluppare tutti i gruppi muscolari.

In altre parole, l'esercizio del ginnasta deve rappresentare, per quanto possibile, un vissuto motorio in cui l'azione meccanica tende a scomparire per lasciare il posto a una visione artistica in senso compiuto.

Queste caratteristiche permettono al ginnasta di accrescere quelle capacità motorie che gli permettono di controllare coordinazioni complesse di movimento, di apprendere e perfezionare rapidamente abilità motorie, di utilizzare razionalmente queste abilità ed opportunamente adattarle in relazione alle esigenze di una situazione mutevole.

In generale, il contenuto della performance si basa sull'esecuzione di brevi esercizi di durata variabile, secondo la specialità considerata, tra i 5 ed i 90 secondi. Al termine di



ogni esercizio una giuria assegna un punteggio che viene attribuito a partire da criteri specifici prestabiliti e rigorosamente codificati “*Codice dei Punteggi*”<sup>3</sup>, riconosciuto a livello internazionale.

La ginnastica artistica è uno sport tra i più popolari a livello mondiale per numero di spettatori registrati ad ogni edizione delle Olimpiadi estive; la stessa popolarità non la si riscontra però nel numero di praticanti. Ciò è primariamente dovuto ai requisiti per la pratica di tale disciplina sportiva: le doti di preparazione fisica e di flessibilità, l’elevato livello di coordinazione neuro-muscolare, l’enorme quantità di abilità tecniche da acquisire e l’alto livello di forza muscolare (*Jemni et al., 2000; McNeal and Sands, 2003; Sands et al., 2003*) richiedono un allenamento difficilmente tollerabile dalla maggior parte delle persone che si accingono a praticarla.

### 1.3 L’EVOLUZIONE DELLA GINNASTICA ARTISTICA

Per comprendere le caratteristiche dell’odierna performance d’élite nella Ginnastica Artistica, non si può prescindere dal considerarne i processi evolutivi ed i fattori che nel tempo l’hanno caratterizzata (*Sands et al., 2003*).

L’approccio ai processi evolutivi induce, molto spesso, a ripercorrere il succedersi storico degli avvenimenti e dei personaggi che hanno “marcato” in modo positivo o negativo la trasformazione.

Tenendo in considerazione, però, gli obiettivi del presente lavoro, risulta sicuramente più utile porre in evidenza soprattutto le cause, gli effetti e le esigenze che hanno determinato l’evoluzione della Ginnastica Artistica e che hanno collocato razionalmente le tecniche ginniche in definiti momenti storici.

Infatti, come la maggior parte delle attività umane, la ginnastica artistica ha un proprio linguaggio, letteratura, abitudini e cultura. I medici, gli scienziati dello sport, i tecnici, i genitori ed i ginnasti possono migliorare l’efficacia delle loro azioni se comprendono gli aspetti salienti dell’evoluzione della ginnastica artistica (*Sands et al., 2003*).

Diversi sono i fattori che hanno contribuito all’evoluzione di questa disciplina sportiva. Il processo di trasformazione è apparso in alcuni momenti lento e regolare ed in altri, come

---

<sup>3</sup> Il Codice dei Punteggi classifica i singoli elementi eseguibili ad ogni attrezzo con le prime 6 lettere dell’alfabeto, in ordine crescente di difficoltà (le difficoltà A sono elementi semplici, le F le più complicate). Il Codice dei punteggi classifica altresì i falli (le imperfezioni) di esecuzione, attribuendo le penalità da applicare.

per il ventennio appena trascorso, si è dimostrato piuttosto repentino (*Zetaruk, 2000; Jemni et al., 2006*).

In sostanza, si può affermare che i fattori che hanno condotto all'odierna performance d'élite nella ginnastica artistica, possano essere ricondotti a quattro elementi principali, tra loro strettamente correlati:

- 1) *Contesto e finalità sociali;*
- 2) *Regolamentazioni;*
- 3) *Progresso tecnologico;*
- 4) *Ricerca scientifica e professionale.*

### **1.3.1 *Contesto e finalità sociali***

Contesto e finalità sociali sono un'organizzazione umana edificata secondo le idee-guida dello Stato, della politica e dell'economia.

Lo Sport in generale, si è configurato ed appare tutt'ora come lo "specchio" della società in cui si inserisce. Questo evidentemente vale anche per la Ginnastica che, in relazione al periodo storico, è passata da momenti che l'hanno sostenuta e stimolata e nei quali ha potuto avere una rapida evoluzione, a periodi in cui è stata posta in secondo piano, fraintesa o addirittura strumentalizzata. (*Enrile and Invernici, 1979*).

E' importante, porre in evidenza la capacità che la ginnastica ha avuto nel tempo di cogliere gli stimoli socio-culturali provenienti da tutte le attività che si proponevano il fine di incantare e strabiliare tramite esecuzioni audaci ed eleganti (attività collettive, circensi, dalla danza e dalla coreografia) per giungere, attraverso una logica educativa, ad una identità specifica.

Più specificatamente si può affermare che la ginnastica, nel corso del tempo, ha assunto vari e notevoli aspetti, alcuni dei quali hanno influito maggiormente sulla trasformazione della stessa disciplina sportiva in esame.

Importante è anche l'aspetto educativo, in quanto la ginnastica è nata come attività completa tendente al miglioramento della salute e delle doti di coraggio, in vista di una formazione unitaria del cittadino fisicamente e moralmente attivo (*Refrigeri, 1989*). La stessa Italia del 1900 era caratterizzata da palestre di ginnastica che si configuravano come

punti di riferimento per le attività sportive giovanili, che culminavano molto spesso in esibizioni e competizioni volte a presentare i risultati del lavoro svolto. I nomi di molte società ginniche del territorio nazionale (“Pro Patria”, “Virtus”, “Forza e Coraggio”) stavano a rappresentare sinteticamente il fine “Sociale” o Nazionalistico” delle attività praticate all’interno delle società.

Ancora oggi, peraltro, osservando manifestazioni del calibro della “*World Gymnaestrada*”<sup>4</sup>, si riscontra l’imprescindibile valore educativo della disciplina in questione.

Altro aspetto fondamentale, assunto nel tempo dalla ginnastica, è quello agonistico. E’ importante porre in evidenza come quest’ultimo sia a sua volta denso di significato formativo.

Gli aspetti formativi della ginnastica competitiva si riscontrano in diversi elementi che caratterizzano la performance atletica: la spinta motivazionale al miglioramento di se stessi e delle proprie prestazioni, la perseveranza e la tenacia dinanzi alle difficoltà ed in vista del raggiungimento dell’obiettivo prefissato, il confronto atletico che molto spesso conduce all’accettazione della sconfitta. Questi sono gli elementi positivi, un bagaglio di valori che sostiene i grandi ginnasti anche durante i momenti importanti della vita.

Però, non si può ignorare come l’agonismo sia stato e sia tutt’ora legato alla logica del risultato ad ogni costo e quindi della selezione.

L’individuare nei risultati dei valori e degli interessi politici, porta molto spesso ad una presenza del contesto sociale su quello sportivo più incalzante che non dell’influenza sportiva sul contesto sociale.

Ricordiamo, inoltre, che in passato avevano prevalenza le competizioni eseguite in modo collettivo mentre, con il progredire degli anni, l’agonismo si è sempre più individualizzato fino a divenire l’espressione suprema del ginnasta singolo (*Ulmann, 1977*).

Ciò ha facilitato, insieme alla ricerca esasperata del risultato legato ad interessi politici, la diffusione di meccanismi errati di selezione dei giovani talenti e della specializzazione sportiva precoce, molto spesso non supportata da conoscenze scientifiche. La diretta conseguenza di queste pratiche ha condotto alla noncuranza dei problemi educativi, della

---

<sup>4</sup> La World Gymnaestrada è una manifestazione ginnica di massa, apparsa per la prima volta a Rotterdam (Olanda) nel 1954, regolamentata a livello mondiale. Fa parte del settore della Ginnastica Generale della F.I.G. e si pone come fine quello di affiancare il ginnasta nella sua volontà di esprimersi liberamente, in rapporto alla cultura, alle tradizioni ed ai sensi estetici dei differenti popoli mediante il movimento.

libertà di scelta del giovane atleta e delle leggi fisiologiche dell'accrescimento, che esigono sempre risarcimenti piuttosto gravosi.

Per questi motivi, la F.I.G. ha combattuto e combatte tutt'ora per l'innalzamento dell'età minima dei ginnasti in vista della loro partecipazione alle competizioni olimpiche (attualmente l'età minima per la partecipazione alle Olimpiadi è 16 anni per le donne e 18 per i maschi).

Si può concludere questo paragrafo ponendo in evidenza le caratteristiche della ginnastica artistica che hanno superato conflitti, differenti contesti socio-culturali e che, per questi motivi, sono rimaste, persistono e, probabilmente, permarranno immutate nel tempo: il senso del rischio, del coraggio e dello straordinario, la capacità di dominare il proprio corpo in qualsiasi situazione spaziale per rendere l'eccezionale un atto consueto, il rischioso energia controllata ed il coraggio un'attività abituale.

### **1.3.2 Regolamenti**

Altro punto importante è rappresentato dalle variazioni e dagli adattamenti del regolamento ginnico nel tempo per non apparire inattuale ed anacronistico.

Occorre innanzi tutto precisare che, per regolamento ginnico o Codice dei Punteggi, si intende la trascrizione codificata della cultura ginnica, delle sue tecniche e delle sue propensioni (*F.I.G., 2005*). Proposto alla fine degli anni '70 dal Comitato di Giuria Internazionale, in sostituzione del vecchio sistema olistico di valutazione della performance ginnica, il Codice dei Punteggi si caratterizza per il fatto di essere elastico, flessibile, suscettibile ed adattabile alle trasformazioni, alle esigenze, alle innovazioni ed allo sviluppo generale della disciplina.

Molto spesso però, questo adattamento avviene sempre con notevole ritardo rispetto allo sviluppo tecnico della ginnastica. Esso varia generalmente alla fine di ogni quadriennio Olimpico, ed il suo mutare comporta una serie di trasformazioni all'interno della stessa disciplina sportiva e della Federazione Internazionale (*Richards et al., 1999; Brooks, 2003; French et al., 2004*).

Con riferimento agli anni trascorsi si può notare quanto già evidenziato precedentemente, ossia il netto spostamento dalla ginnastica collettiva e polivalente verso una ginnastica sempre più specializzata e tendente a porre in risalto l'aspetto individuale.

In passato il ginnasta agonista, oltre a dover affrontare le classiche prove sulle specialità olimpiche, doveva concorrere anche in attività di tipo atletico (come ad esempio il salto in alto, la corsa veloce etc.) che conferivano alla ginnastica un aspetto polivalente.

Inoltre il ginnasta era costretto ad effettuare il concorso a squadre presentando esercizi (liberi ed obbligatori) su tutti gli attrezzi e, solo dopo aver completato tutte le specialità, il ginnasta poteva concorrere alla finale per attrezzo.

Ciò pone in evidenza che lo scopo della ginnastica era la specializzazione, ma che non rinunciava alla cultura della collettività e del polimorfismo della disciplina sportiva.

Nel 1950, in Svizzera, veniva data finalmente la possibilità ai ginnasti di partecipare ai Campionati del Mondo individualmente e non obbligatoriamente solo con la squadra, conferendo loro l'opportunità di concorrere anche per la finale di specialità.

Solo di recente, precisamente nel 1992 a Parigi (Francia), si è potuto assistere al Primo Campionato del Mondo di specialità all'attrezzo, totalmente separato dalla gara di squadra, quindi dallo spirito collettivo che aveva animato la ginnastica per quasi un secolo.

Proseguendo in questa direzione, oggi si osservano competizioni in cui si ha l'apporto di specialisti all'attrezzo che contribuiscono al punteggio finale della squadra con il punteggio ottenuto nella singola specialità.

Un'altra innovazione, raggiunta in modo lento e sofferto, è stata l'abolizione dal regolamento ginnico internazionale degli esercizi obbligatori<sup>5</sup>. Questo fondamentale cambiamento ha segnato un momento decisivo verso l'evoluzione della disciplina configurandosi come una delle pietre miliari di tutta la storia della ginnastica.

Tale innovazione è scaturita da un'esigenza che ormai da qualche tempo si rendeva manifesta, sia negli spettatori sia in tutti gli operatori del settore, ma in particolar modo negli stessi ginnasti. Gli esercizi obbligatori, infatti, erano dotati di una particolare monotonia e ripetitività che nulla aveva a che vedere con la natura spettacolare della disciplina in questione.

Inoltre l'atleta era sottoposto a un incredibile volume di lavoro, che sottraeva tempo allo studio di moderne tecniche esecutive e all'acquisizione di nuovi elementi, fattori questi in

---

<sup>5</sup> Fino al Campionato del Mondo del 1992 gli atleti di ogni squadra dovevano svolgere una doppia competizione: una con programma obbligatorio e una con programma di libera composizione. Il primo programma era costituito da sei esercizi obbligatori per i maschi e quattro per le femmine (uno per ogni attrezzo) stabiliti dal rispettivo Comitato Tecnico all'inizio del ciclo olimpico, quindi validi per quattro anni. La classifica di ogni squadra si otteneva sommando i migliori punteggi obbligatori più quelli liberi per complessivi 60 esercizi.

netta contrapposizione con le caratteristiche d'individualità, creatività e originalità tipiche dello sport in questione.

Dal 1992 il programma obbligatorio, considerato fino ad allora di carattere formativo ed educativo, è stato abolito perché ritenuto in contrasto con gli stessi principi fondanti, non educativo, né formativo e né spettacolare.

L'ultima importante innovazione, in ordine cronologico, apportata al Regolamento Internazionale concerne i criteri utilizzati per il sistema di valutazione della performance.

Da Gennaio 2006 è infatti possibile parlare di Record del Mondo anche per i ginnasti d'élite. Mentre in passato il punteggio massimo acquisibile da un ginnasta era stabilito in punti dieci, attualmente l'unico vincolo posto al raggiungimento di alti punteggi di performance (maggiori di dieci punti) risiede nella capacità del ginnasta di inserire, all'interno degli esercizi, il maggior numero di esercizi dotati dei più elevati coefficienti di difficoltà <sup>6</sup>.

Ciò ha comportato notevoli cambiamenti alla disciplina sportiva in termini di incremento delle componenti di difficoltà degli esercizi eseguibili sui diversi attrezzi. Anche il lessico ginnico dei soggetti formanti la giuria si adatta oggi a ciò che deriva dai concetti di "Open Score" ("*punteggio aperto*", riguardo al numero ed al livello di difficoltà dei movimenti inseriti negli esercizi) e "Perfect Ten" ("*dieci perfetto*" come massimo acquisibile per l'esecuzione e l'estetica dell'esercizio).

Molti autori hanno riportato nei loro studi che la moderna ginnastica artistica esige un più alto livello di forza e potenza rispetto al passato, proprio a causa dell'incremento delle difficoltà tecniche richieste dalla revisione del Codice dei Punteggi (*Richards et al., 1999; Brooks, 2003; French et al., 2004*).

Dalla comparazione del Codice dei Punteggi F.I.G. del 1970 con l'ultima versione (2005-2008), si può rilevare come nel passato fossero presenti solo 3 livelli di difficoltà: A, B e C. Il Codice attuale presenta invece non solo un incremento nel numero delle abilità tecniche ma anche 7 livelli di difficoltà. Gli esercizi composti con le abilità E, F e G posseggono un più alto valore di partenza rispetto agli esercizi costruiti con i soli elementi B, C e D. I ginnasti sono quindi incoraggiati ad affrontare nuove difficoltà per avere un

---

<sup>6</sup> Per coefficiente di difficoltà di un movimento si intende il valore ad esso attribuito dal Codice dei Punteggi internazionale F.I.G. Tanto più elevata sarà la difficoltà del movimento da eseguire tanto maggiore sarà il punteggio (coefficiente di difficoltà) corrispondente allo stesso movimento.

punteggio di partenza degli esercizi più elevato e quindi più competitivo (*Jemni et al., 2006*).

Tutti i cambiamenti sopra descritti hanno spalancato le porte alla ginnastica artistica d'élite di oggi e di domani, hanno aperto altri orizzonti e superato le modalità esecutive convenzionali per dare origine a movimenti sempre nuovi, più complessi e spettacolari.

### **1.3.3 Progresso Tecnologico**

Con il ventunesimo secolo, la popolazione mondiale si trova al centro di radicali cambiamenti: si è verificato lo sviluppo e la piena maturazione di un nuovo tipo di società tecnologicamente avanzata, che ha prodotto notevoli trasformazioni, sia a livello della dimensione psicologica e antropologica dell'uomo, sia a livello del miglioramento delle capacità umane.

Com'è noto, quest' ondata tecnologica ha investito tutti i contesti professionali e lavorativi e, in misura rilevante e per un certo verso differente, anche l'ambito sportivo.

In particolare nella ginnastica artistica si sono avute modificazioni riguardanti la struttura degli attrezzi olimpici, di quelli facilitanti e di supporto che hanno trasformato le diverse modalità di esecuzione e apprendimento del gesto tecnico incrementando in tal modo la difficoltà dei movimenti (*Zetaruk, 2000*). Inoltre sono giunti contributi inerenti i criteri di selezione, di guida e di valutazione dei giovani ginnasti, nonché di programmazione e monitoraggio della attività stessa; per l'analisi di questi ultimi aspetti si rimanda alla trattazione del paragrafo successivo.

Per ciò che concerne gli attrezzi olimpici, appare utile riferire sulle specialità della ginnastica che più di altre si sono trasformate nel corso del tempo, dando origine a nuove generazioni di movimenti.

La ginnastica artistica ha subito parecchi cambiamenti durante le due decadi appena trascorse. Venti anni fa la pedana per il corpo libero era costituita da un tappeto di poliuretano alto 3 cm. Oggi i ginnasti cadono e saltano su due strati di compensato coperti da un triplice livello di gommapiuma da 5 cm che racchiudono molle da 12 cm (*Weiss, 1994*).

Questa nuova pedana, oltre ad ammortizzare le fasi di contatto del corpo con il suolo, riducendo il rischio di lesioni (*Zetaruk, 2000*), provvede a far sì che alla forza di

contrazione della muscolatura degli arti erogata durante le fasi di spinta tipiche dei salti acrobatici, si sommi l'impulso fornito dalla componente elastica fornita dalle molle della pedana. Il risultato dell'azione di questa coppia di forze si concretizza in un incremento della velocità di esecuzione del movimento ed in una maggiore elevazione del corpo in attitudine di volo. Appare intuitiva la conseguente genesi della possibilità, per il ginnasta, di compiere un numero superiore di rotazioni attorno ai diversi assi del corpo, durante i periodi delle fasi aeree, incrementando in tal modo il grado di difficoltà degli esercizi eseguiti (*Zetaruk, 2000*).

Le stesse considerazioni sopra esposte sull'elasticità della pedana del corpo libero, possono essere ritenute valide anche per la trave, in passato di legno, oggi costruita in materiale di alluminio non deformabile, molle ed imbottitura in pelle antiscivolo. In questa specialità, però, oltre ai vantaggi legati all'inserimento delle molle nell'attrezzo, che consentono un aumento della permanenza del corpo in volo durante le fasi acrobatiche, subentrano gli svantaggi relativi all'allontanamento del baricentro dalla base d'appoggio durante le fasi aeree degli esercizi. Questo incremento della distanza del baricentro dalla base d'appoggio (caratterizzata oggi, come in passato, da un diametro di soli 10 centimetri) richiede alla ginnasta una maggiore capacità nel mantenimento di una condizione ottimale di equilibrio. Lo svantaggio menzionato è comunque irrilevante rispetto alle agevolazioni che può fornire oggi l'attrezzo: incremento della velocità di esecuzione degli esercizi, maggiore facilità di realizzazione di movimenti ad alto coefficiente di difficoltà, più sicurezza nella fasi di contatto con l'attrezzo con conseguente riduzione del rischio di infortuni.

Anche il volteggio, dotato oggi di molle nella pedana<sup>7</sup> e nella tavola, offre maggiori agevolazioni sia durante la fase di spinta/stacco degli arti inferiori sulla pedana che durante l'impatto degli arti superiori sulla tavola. Quest'ultima ha sostituito ufficialmente, nell'anno 2001, lo storico cavallo per il volteggio dando vita ad una nuova serie di esercizi a più alto grado di difficoltà. Infatti, l'odierna tavola, a differenza della struttura del classico cavallo per il volteggio, si caratterizza per la forma completamente rivista ed una superficie d'appoggio maggiore. L'elasticità conferita dalle molle inserite all'interno dell'attrezzo, oltre a mitigare l'azione di contatto degli arti superiori del ginnasta con la

---

<sup>7</sup> La pedana è un attrezzo codificato che viene utilizzato per fornire, successivamente alla fase di rincorsa, la propulsione necessaria al superamento della tavola per il volteggio.



superficie d'appoggio, consente l'immagazzinamento dell'energia acquisita durante la fase di corsa per restituirla durante la successiva fase di stacco degli arti superiori dalla tavola. Con una corretta tecnica esecutiva, questa nuova struttura dell'attrezzo garantisce al ginnasta la realizzazione di movimenti ad un'altezza elevata, con parabole più ampie ed azioni più rapide.

L'elasticità, di cui fin qui si è trattato, caratterizza anche l'evoluzione delle parallele maschili e femminili e della sbarra, facilitando qualsiasi tipo di movimento eseguito su questi attrezzi: dalle kippe <sup>8</sup> alle oscillazioni, dai grandi salti alle uscite. Anche in questo contesto i ginnasti acquistano una notevole altezza di esecuzione ed una maggiore rapidità nei movimenti.

Degli ultimi tre attrezzi sopra citati, le parallele asimmetriche (esclusive della Sezione Femminile) sono quelle che più si sono evolute strutturalmente.

Venti anni fa gli staggi erano costruiti in legno, ovali e disposti ad una distanza talmente ravvicinata gli uni agli altri che la ginnasta avrebbe potuto appendersi allo staggio superiore e contemporaneamente porsi in contatto con lo staggio inferiore con le anche. Oggi, gli staggi sono costruiti con materiale di vetroresina, più alti, più rotondi e molto distanti gli uni dagli altri. Con le caratteristiche attuali delle parallele asimmetriche si può avere una presa degli staggi più sicura, più adatta alle mani della ginnasta, è possibile eseguire movimenti di grande oscillazione con ampiezze e velocità maggiori rispetto a quanto permesso dalla struttura precedente, realizzando movimenti molto simili a quelli che eseguono gli uomini alla sbarra (*Zetaruk, 2000*). Questi fattori hanno condotto alla possibilità di applicare nuove tecniche per la realizzazione di movimenti sempre più complessi.

Oltre che le specialità olimpiche, il progresso tecnologico, ha interessato e migliorato le modalità di apprendimento e correzione del gesto tecnico. Infatti per mezzo di telecamere e pc dotati dei più sofisticati software per l'analisi del movimento è possibile porre i ginnasti dinanzi all'osservazione diretta ed immediata dell'esecuzione del proprio movimento. In tal modo, mediante un meccanismo di feedback immediato, il ginnasta prende coscienza della propria prestazione e degli errori intervenuti nel corso della stessa.

---

<sup>8</sup> Tipo di esercizio che viene effettuato elevando il corpo da un piccolo slancio pendolare in sospensione con atteggiamento di squadra rovesciata, all'appoggio ritto. E' un movimento fondamentale per l'esecuzione degli esercizi alle parallele ed alla sbarra.

Allo stesso modo il ginnasta potrà confrontare le proprie prestazioni e verificare, di conseguenza, i propri miglioramenti, sviluppando, oltre che un migliore senso estetico ed una piena maturazione dello schema corporeo, anche la capacità di auto-correzione. Inoltre con i mezzi audiovisivi è possibile analizzare e presentare al ginnasta esercizi di atleti modello, illustrare movimenti nuovi e trovare gli spunti per eventuali nuove tecniche e metodiche di allenamento.

Si può concludere il discorso sul progresso tecnologico evidenziando ancora una volta l'importanza che questo ha assunto nel superamento delle difficoltà caratteristiche del passato, nella riduzione del rischio di infortuni e nel rinnovamento della disciplina sportiva, indirizzandola verso la massima espressione del movimento.

#### **1.3.4 Ricerca Scientifica e professionale**

La ricerca scientifica si configura come il motore dello sviluppo della ginnastica artistica in termini di nuove conoscenze. Infatti, da una pratica secolare caratterizzata da spiegazioni aneddotiche e procedure attuate “per tentativi” si è giunti, nel corso degli ultimi decenni, ad una ginnastica artistica impegnata nel ricercare evidenze scientifiche che siano in grado di chiarire il “*perché*” ed il “*come*” si possa pervenire ai massimi risultati nelle diverse specialità.

Le maggiori ricerche nel campo, stanno facendo sì che la ginnastica artistica possa esser proposta su basi scientifiche.

Dallo studio biomeccanico del movimento ginnico giunge la conoscenza delle leggi cinematiche, statiche e dinamiche che vincolano il corpo umano nelle sue innumerevoli implicazioni motorie al suolo ed agli attrezzi. Nasce così lo studio del movimento tecnico sotto un profilo dinamico e fioriscono le tecniche esecutive uniformate ai nuovi movimenti. Mentre le informazioni biomeccaniche sulla ginnastica sono relativamente abbondanti, le conoscenze diventano spesso velocemente obsolete (*Sands, 2003*). Per esempio, l'evoluzione strutturale delle parallele asimmetriche<sup>9</sup> ha cambiato il carattere delle prestazioni in questa specialità riducendo in tal modo l'attinenza delle analisi biomeccaniche fatte precedentemente sui movimenti tecnici caratteristici dell'attrezzo.

---

<sup>9</sup> Cfr. Paragrafo 1.3.3 Progresso Tecnologico.

Dalle ricerche nel campo della fisiologia si cerca di cogliere il funzionamento del corpo dell'atleta in rapporto alle diverse attività di questa disciplina. Si arriva in tal modo alla conoscenza dei carichi di allenamento più adeguati per i singoli atleti in relazione alle singole specialità ed in vista della performance di gara.

La psicologia dello sport ha compiuto enormi passi avanti riguardo i meccanismi fondamentali che governano il comportamento, strutturano la personalità e modificano lo stato del ginnasta in allenamento ed in gara. L'intento è quello di formare tecnici che siano in grado di comprendere appieno i diversi momenti della carriera di un atleta.

Per mezzo dello studio del comportamento alimentare sui giovani ginnasti si cerca di analizzare le problematiche derivanti da uno sport che pone in risalto l'aspetto estetico per l'ottenimento di buoni risultati e di fornire le indicazioni più adeguate alla risoluzione dei problemi.

Dall'analisi della morfologia e della composizione corporea dei ginnasti d'élite si tenta di pervenire alla definizione scientifica dei requisiti fisico-strutturali richiesti per la pratica di un'attività complessa quale è quella della disciplina in questione. Inoltre, per mezzo dello studio degli effetti che l'allenamento ginnico produce durante l'accrescimento, si cerca di mettere a punto tecniche esecutive mirate e programmi di allenamento proporzionati al giovane corpo in evoluzione del ginnasta. Troppo spesso i danni provocati da allenamenti che non tengono adeguatamente conto della struttura fisica degli atleti producono sui giovani ginnasti lesioni permanenti che li costringono al ritiro dall'attività agonistica .

Le scoperte nel campo della genetica applicata sport pongono poi in risalto la dimensione che assume la ricerca scientifica in uno sport elitario come la ginnastica artistica, in cui si sente l'esigenza di pervenire alla definizione di quanto dell'atleta è determinato geneticamente e quanto si può viceversa migliorare per mezzo dell'allenamento.

Le scoperte nel campo della ricerca scientifica applicata alla ginnastica artistica fanno sì che i tecnici di alta qualificazione possano fruire di quanto presente in letteratura, aggiornandosi ed ampliando il proprio bagaglio culturale al servizio di una ginnastica artistica che cerca di conquistare una dimensione tecnica di grado più elevato.

La Ginnastica Artistica moderna fa affidamento sulla scienza per migliorare le prestazioni, innovare l'ambito della sicurezza ed ottimizzare l'impatto della pratica sportiva sullo stato di salute dei giovani ginnasti.

***La Ginnastica Artistica di Alta Specializzazione***



## **2. LA GINNASTICA ARTISTICA DI ALTA SPECIALIZZAZIONE**

Tra le tante discipline sportive agonistiche praticate ad alto livello, ne esiste una in particolare, la ginnastica artistica, che risulta difficilmente accessibile alla stragrande maggioranza dei soggetti che si accingono a praticarla.

La ginnastica artistica è una fusione insolita tra sport e arte, acrobatica e danza, rigidità e duttilità, volo e rotolamento, maturità e gioventù.

A livelli d'élite, infatti, la ginnastica artistica richiede un altissimo grado di forza, destrezza e coordinazione neuro-muscolare che si manifesta nella capacità dei ginnasti di supportare il peso del proprio corpo attraverso una miriade di posizioni nello spazio circostante. Ne consegue che i soggetti che giungono ai livelli d'eccellenza in questo sport emergono evidentemente da una durissima selezione che avvantaggia coloro in possesso di particolari caratteristiche fisiche e peculiari varianti genetiche<sup>10</sup>. Per sviluppare le abilità necessarie al raggiungimento di alti livelli di performance, i ginnasti devono dedicare totalmente la propria vita a questo sport, sin dalla giovane età. Alcuni studi suggeriscono che occorrono dieci anni di duro allenamento per far sì che un ginnasta raggiunga un Livello agonistico Internazionale (Bajin,1987). Altri studi, condotti sui ginnasti Cinesi, indicano come i giovani atleti si allenino in media dagli otto ai dieci anni prima di esordire con la maglia della propria Nazionale (Ho,1987).

In termini di volume di allenamento, questo può variare dalle 20 alle 40 ore alla settimana a seconda della fase di preparazione del ginnasta. Alla prima fase di preparazione generale, in cui i contenuti dell'allenamento sono prettamente multilaterali, fa seguito la preparazione orientata all'alta specializzazione che inizia all'età di 8-9 anni per le femmine e 9-10 anni per i maschi. Durante questa seconda fase, i giovani ginnasti iniziano lo studio dei contenuti tecnici dell'alta specializzazione, si impongono nelle prime competizioni a livello regionale ed interregionale ed iniziano a sperimentare le sensazioni della “gioia di vincere” e del “coraggio di saper perdere”. I pochi atleti che dimostreranno di possedere le caratteristiche giuste per progredire nell'attività agonistica e per affrontare e sostenere i pesanti carichi di allenamento, proseguiranno nella preparazione che li vedrà impegnati, all'età di 12-13 anni circa, in doppie sedute di allenamento giornaliere per un totale di 30-40 ore di attività alla settimana.

---

<sup>10</sup> Coesistenza di differenti variazioni di un carattere in una popolazione, dovute a differenze nelle sequenze del DNA

## 2.1 INDIVIDUAZIONE DEL MODELLO DI PRESTAZIONE

La ginnastica artistica, per la grande quantità di variabili prestazionali presenti in gara (e soprattutto per l'alta componente coordinativa), non permette una facile indagine dei fattori che concorrono alla performance di successo e la loro classificazione.

L'individuazione del Modello di Prestazione nasce da un processo di ricerca, analisi e successivamente definizione delle caratteristiche che condizionano la performance.

Un appropriato modello di prestazione dovrebbe tenere conto di tutti i fattori propri ad ogni sport che possono influenzare il risultato agonistico: elementi organico-funzionali, coordinativi, antropometrici, anagrafici, psicologici, ambientali, genetici etc.

Per quanto si riferisce alla Ginnastica Artistica, un tale tipo di individuazione non è ancora pienamente avvenuta, in quanto nello studio scientifico di questa disciplina sportiva è stato dato, da sempre, maggiore risalto al contributo energetico, che appare di facile comprensione ed immediato riscontro nell'allenamento.

I quesiti, che sono oggetto di ricerca per quanti intendano approfondire lo studio del modello, mirano alla conoscenza delle caratteristiche fisiologiche richieste durante la prestazione, della durata della performance, delle proprietà metaboliche di consumo energetico, del contenuto della prestazione, della struttura fisica del ginnasta e delle relazioni che questa ha con il successo nella performance. Alla soluzione di questi interrogativi devono concorrere proficue analisi di tipo bibliografico accompagnate dalla sperimentazione diretta, durante la pratica degli allenamenti, volta a verificare la rilevanza delle variabili a cui si è fatto riferimento.

Raggruppando per tematiche gli studi scientifici applicati alla ginnastica artistica d'élite, pubblicati nel periodo di tempo compreso tra il 1976 ed il 2005 e reperiti attraverso la banca dati di Pub Med<sup>11</sup> per mezzo della digitazione di opportune parole chiave, si è ottenuta la seguente suddivisione:

- *Il 28% degli studi sono dedicati alla traumatologia;*
- *Il 24% degli studi sono dedicati ai fattori endocrinologici;*
- *Il 15% degli studi sono dedicati all'antropometria;*
- *Il 13% degli studi sono dedicati alla nutrizione,*
- *Il 11% degli studi sono dedicati al campo della biomeccanica del movimento,*
- *Il 9% degli studi sono dedicati al campo della fisiologia.*

---

<sup>11</sup> Banca dati online specializzata attraverso la quale è possibile reperire la letteratura scientifica inerente argomenti specifici ([www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/))



Le percentuali sulle tematiche trattate in letteratura, possono essere interpretati anche come indice di quanto sia più o meno difficile analizzare e studiare una disciplina complessa come la ginnastica artistica. Un esempio di ciò sono gli studi fisiologici *“decisamente insufficienti per spiegare i fenomeni che si realizzano all’interno della ginnastica artistica”*. (Frohner et al., 2004)

Altri sono di più facile comprensione come gli studi antropometrici; *“i ginnasti sono caratterizzati da bassa statura, spalle larghe, bacino stretto ed una muscolatura decisamente sviluppata”* (Claessens, 1999b); *“alcune ricerche suggeriscono che i ginnasti d’élite nel momento in cui iniziano l’attività siano già in possesso di queste basi fisico-strutturali”* (Richards et al., 1999).

Nonostante la complessità della disciplina in esame si è tentato di individuare un ipotetico modello di prestazione tale da includere quelle variabili che più di altre potessero distinguere e condizionare la performance d’élite nella ginnastica artistica.

### **2.1.1 Il Modello di prestazione “globale” nella Ginnastica Artistica**

Il modello di prestazione globale nella Ginnastica Artistica, si riferisce alla complessità della performance di gara intesa come esecuzione degli esercizi in tutte le specialità (6 per gli atleti maschi e 4 per le atlete femmine) e comprensiva dei fattori principali che possono concorrere a modificarne il risultato finale.

Le variabili fondamentali che caratterizzano e condizionano la performance di successo nella Ginnastica Artistica sono così sintetizzabili:

#### *1) Durata della Performance;*

**La durata totale della performance di gara**, è data dal periodo che intercorre tra il momento in cui il ginnasta entra in campo gara e il momento in cui finisce l’esercizio dell’ultima specialità. Questo periodo è composto dalle parti di riscaldamento all’attrezzo, dalla performance di gara vera e propria e dalle pause di recupero previste dalle rotazioni ai diversi attrezzi.

Con riferimento alle competizioni regolari di livello Internazionale questo periodo dura in media circa 60 minuti per le ginnaste e circa 90 minuti per i ginnasti.

**La durata effettiva della performance di gara**, è invece definita dal periodo in cui il ginnasta esegue gli esercizi all’attrezzo. Questo momento è composto dalla somma della durata di ogni singolo esercizio di gara eseguito per ciascuna specialità con esclusione dei

tempi di riscaldamento e di recupero e dura in media 3'58'' per le femmine e 4'35'' per i maschi.

2) *Il Contenuto;*

Il contenuto della ginnastica artistica (soggetto a valutazione qualitativa da parte di un corpo giudicante) è dato dalla struttura dei movimenti che in questa disciplina si possono compiere, identificati sulla base di un processo cronologicamente determinato. Gli atti motori risultano in questo senso *aciclici*<sup>12</sup> ed hanno un *carattere tecnico combinatorio* (Borrmann, 1962) proprio per la natura degli elementi tecnici componenti gli esercizi che vengono eseguiti secondo una combinazione in successione.

3) *Il Regime di contrazione e il tipo di forza muscolare prevalente;*

Il regime di contrazione muscolare prevalente è di tipo dinamico, caratterizzato da contrazioni muscolari concentriche, eccentriche e pliometriche che privilegiano le espressioni della forza esplosiva. Sono presenti anche componenti di forza statica a prevalente contrazione isometrica, soprattutto a carico della sezione maschile.

4) *Distretti muscolari maggiormente interessati;*

Durante la performance vengono coinvolti in maniera determinante tutti i distretti muscolari, con particolare riferimento ai muscoli della parte superiore del corpo nella ginnastica artistica maschile.

5) *Metabolismo energetico utilizzato;*

Il metabolismo energetico prevalentemente utilizzato dal ginnasta durante la performance agonistica è di tipo anaerobico, differenziato in lattacido e lattacido a seconda della specialità su cui si esegue l'esercizio (Goswami e Gupta, 1998).

6) *Frequenza cardiaca media;*

La frequenza cardiaca media utilizzata dal ginnasta durante l'esecuzione degli esercizi di gara è di 163 bpm ed è ottenuta prendendo in considerazione i valori medi di frequenza cardiaca per ogni specialità (Jemni et al. 2000).

---

<sup>12</sup> “Si intendono per discipline sportive acicliche quelle caratterizzate da abilità motorie che vengono impiegate solo all'occorrenza, adeguandole alla particolare fase agonistica che si è determinata, oppure risultano indispensabili, talvolta uniche, per il raggiungimento dell'obiettivo fondamentale della tecnica sportiva.” (Meinel, 1984)

8) *Classificazione;*

Con riferimento alla classificazione delle discipline sportive su base bioenergetica (*Dal Monte 1969; Lubich 1990*) la ginnastica artistica si colloca tra gli sport di destrezza con grande impiego di forza muscolare.

9) *Struttura fisica ideale;*

La struttura fisica limita sicuramente una performance di successo nella ginnastica artistica. Gli studi presenti in letteratura (*Claessens et al., 1991a,1992, Claessens, 1999b; Malina et al.,1999; Daly et al., 2000*) concordano nel ritenere che il ginnasta di alta qualificazione agonistica sia dotato di caratteristiche fisiche molto particolare quali : bassa statura, spalle larghe, bacino stretto e una muscolatura decisamente sviluppata. Il somatotipo medio dei ginnasti d'elite è mesomorfo (*Carter, 1990*), quello delle ginnaste ecto-mesomorfo (*Broekhoff et al., 1986*).

## **2.2 CENNI SULLA COMPOSIZIONE DEGLI ESERCIZI**

Gli esercizi ginnici si compongono in maniera differenziata in considerazione della categoria alla quale appartiene il Ginnasta. Per la categoria allievi (8-14 anni) e allieve (8-12 anni) si prevede l'utilizzo di griglie specifiche all'interno delle quali sono codificati i movimenti o combinazioni di movimenti che è possibile eseguire. Oltre alle esigenze specifiche (EGE), elementi che ciascun esercizio dovrà obbligatoriamente contenere, sarà cura dell'allenatore scegliere i movimenti più idonei, tra quelli previsti dalle griglie, per la formulazione dell'esercizio al proprio ginnasta (Figura 2.1).

Le gare con esercizi liberi per le categorie juniores e seniores, sono organizzate in modo da permettere alle ginnaste ed ai ginnasti di esprimere al meglio le loro qualità eseguendo in particolare le difficoltà più consone al livello tecnico acquisito. Ovviamente la composizione degli esercizi liberi deve seguire le indicazioni determinate e descritte nel Codice dei Punteggi.

**Figura 2.1.** Griglia di composizione degli esercizi alle Parallele. Categoria Allieve, Programma Tecnico Nazionale Unico 2008

<b>Parallele</b>									
P.T.U. Allieve		Società:		Nome:		Livello:		Anno di nascita:	Data:
EGE	A 0,10	B 0,20	C 0,30	D 0,40	E 0,50	F 0,60	G 0,70	H 0,80	I 0,90
1 0,5	Giri d'appoggio	Enthala-Saltire all'appoggio nito frontale	Enthala-Capovolta d all'appoggio nito frontale (part. libera)	Giro addominale d S.I.	Giro addominale d S.S.	Tempo di capovolta d o giro pianta d [-0]	Tempo di capovolta d o giro pianta d [-45]	Tempo di capovolta d o giro pianta d [+45]	Capovolta d o Giro di pianta d [V] con 180° o più
2 0,5	Giri di pianta e cambi di straggio	Dall'app.: passaggio lat. di 1 gamba con salto di mano arrivo in app. con q. infilata	Dall'appoggio: Salto di 1 gamba con salto di mano arrivo piedi sullo straggio	Giro di pianta a o d a gambe piegate	Giro di pianta a o d a gu e tese dall'inizio alla fine del giro	Dall'appoggio: Salto di 1 g e corpo squad. (+45)	Dall'appoggio: Salto di 1 g e corpo squad. (V)	Floretto e stacco con volo da S.I. a S.S.	Elemento "C" o più con volo da S.I. a S.S.
3 0,5	Slanci, verticali	Dall'appoggio: Salto di 1 g e corpo squad. (-0)	Dall'appoggio: Salto di 1 g e corpo squad. (-45)	Fuchs	Dall'appoggio: Salto di 1 g e corpo squad. (+45)	Dall'appoggio: Salto di 1 g e corpo squad. (V)	Salto di 1 g e corpo squad. (V)	Salto di 1 g e corpo squad. (V)	Salto di 1 g e corpo squad. (V)
4 0,5	Bascule Oscillazioni granvole indietro	Dall'app.: Bascule con 1 g infilata in presa coplita	S.S.: dall'oscillazione e salite all'appoggio in capov. a g. tese	Dall'appoggio: Bascule con 1 g. tesa infilata	Dall'appoggio S.S.: Mezza volta di Peto	Granvolta di petto con 180° a.l. (+45)	Granvolta di petto con 180° a.l. (V)	Granvolta di petto con 180° a.l. (V)	Granvolta di petto con 360° a.l.
5 0,5	Uscite	Dall'app.: Salto di 1 g arrivo a terra di fronte allo straggio	Dall'oscillaz. S.S. abbandonate di le impugnature ed arrivo in piedi	Floretto anche con 1/2 giro	Salto a o d raccolto	Salto a o d a corpo teso	Doppio salto d raccolto	Uscita "C" o superiore	
6	Elementi con volo	Dall'app. con 1 g. infilata 1/2 giro numerando le gambe in app. nito frontale	Da nito S.I.: salite alla sospensione allo S.S.	infilata a 2 e stacco (anche presa della Bascule)	Discesa in dorso terminata all'altezza dello straggio	Granvolta di dorso sospensione squad.ato	Granvolta di dorso corpo teso gu	Gran volta di dorso con 180° o più	Salto a scelta (presa stesso straggio) minimo "D"
7	Gin d'appoggio, granvole avanti		Giro addominale a gambe flesse (occheta)	Giro addominale a a gambe tese (occheta)	Discesa in dorso terminata all'altezza dello straggio	Granvolta di dorso sospensione squad.ato	Granvolta di dorso corpo teso gu	Gran volta di dorso con 180° o più	Salto a scelta (presa stesso straggio) minimo "D"
8	Giri indietro, Stalder		Giro di con una gamba tesa infilata	Stalder (-0)	Stalder (-45)	Stalder (+45)	Stalder (+45)	Stalder (V) (anche con 180°)	Stalder (V) con 360° a.l. o Stalder gu (V) o Salto a scelta (riversa st. straggio) minimo "D"
9	Giri avanti, Endo	Giro a con una gamba tesa infilata	Giro a con 2 gambe tese infilata	Endo (-0)	Endo (-45)	Kippe straggio alto	Endo (+45)	Endo gu (+45) o Endo in culcitale (+45)	Endo gu (V) o Endo culcitale (V) o Salto a scelta (rip. st. sta) min "D"
10	Kippe, Slanci e Cubitali	Dall'appoggio: Salto di 1 g a corpo teso gu (-0)	Dall'appoggio: Salto di 1 g a corpo teso gu (-45)	Kippe straggio basso o Kippe infilata con infilata a 2 gambe tese	Dall'appoggio: Salto di 1 g a corpo teso gu (+45)	Dall'appoggio: Salto di 1 g a corpo teso gu (V)	Dall'appoggio: Salto di 1 g a corpo teso gu (V)	Granvolta cubitale anche con 1/2 giro o più o Salto a scelta (rip. st. sta) min "D"	

Legenda: al(avanti) di(dietro) gd(gambe divaricate) gu(gambe unite) [] (tutti i movimenti) -0(isoto l'orizz.) -45(isoto i 45° dalla Vert.) +45(sopra i 45° dalla Vert.) V(in verticale)

## 2.2 IL NUOVO SISTEMA DI VALUTAZIONE DELLA PERFORMANCE

La ginnastica artistica di alto livello è uno sport tecnico-combinatorio in cui il successo della performance è subordinato alla valutazione di un corpo giudicante. Gli atleti eseguono brevi esercizi (di durata variabile tra i 5 e i 90 secondi a seconda della specialità nell'ambito della quale vengono eseguiti). Al termine di questi, una giuria (costituita da giudici di gara) assegna un punteggio che va da 0 ad un valore massimo che varia a seconda delle difficoltà dei singoli elementi che compongono l'esercizio.

Il punteggio viene stabilito in base a particolari criteri quali: la presenza di alcuni esercizi richiesti obbligatoriamente, che prendono il nome di esigenze specifiche, la difficoltà degli elementi eseguiti e la perfezione tecnico-estetico-esecutiva con la quale viene prodotto l'esercizio rispetto al modello ideale di riferimento.

Questo meccanismo viene regolato dal Codice dei punteggi, che classifica i singoli elementi eseguibili su ogni attrezzo mediante le prime sei lettere dell'alfabeto, in ordine crescente di difficoltà:

- *A: elementi semplici;*
- *B: elementi di media difficoltà;*
- *C: elementi difficili;*
- *D: elementi molto difficili;*
- *E: elementi d'alta difficoltà ed originali;*
- *F e G: elementi di alta difficoltà ed eseguiti raramente.*

I giudici di gara, per acquisire tale qualifica, devono frequentare dei corsi di preparazione organizzati dalla F.I.G. e dalla F.G.I., sostenendo esami di diverso livello. In relazione alla competenza acquisita, le qualifiche si diversificano in: Giudice Regionale, Giudice Nazionale e Giudice Internazionale.

Oltre a questi corsi di preparazione, i giudici devono frequentare i corsi di aggiornamento che prevedono ulteriori esami per riconfermare il grado raggiunto.

Questi corsi servono anche per un aggiornamento sulla continua evoluzione degli esercizi e sulle tecniche di esecuzione, per il costante aumento delle difficoltà ed infine per adattare il metodo di giudizio a quanto previsto dal Codice dei Punteggi Internazionale.

Il Codice dei punteggi, pubblicato dalla Commissione Tecnica della Federazione Internazionale Ginnastica, descrive e raffigura tutti gli elementi che possono essere utilizzati per la composizione degli esercizi, viene aggiornato al termine di ogni

quadriennio Olimpico ed è utilizzato sia per le competizioni nazionali che per quelle internazionali.

Il corpo giudicante è composto dalla Giuria A<sup>13</sup> che stabilisce il valore di partenza, cioè il valore massimo del contenuto dell'esercizio, e dalla Giuria B<sup>14</sup> che valuta i falli d'esecuzione, di presentazione e di contenuto artistico eseguiti durante l'esecuzione dell'esercizio.

Il punteggio finale è dato dal valore di partenza dell'esercizio meno i falli di esecuzione.

Oltre alla descrizione degli elementi per comporre gli esercizi, il Codice dei Punteggi stabilisce le penalità che possono essere applicate ad ogni esercizio. I falli che un ginnasta può commettere sono schematizzati come segue:

- *tecnici;*
- *di combinazione;*
- *riguardanti la tenuta del corpo;*
- *riguardanti il comportamento del ginnasta o dell'istruttore.*

I collaboratori scientifici del Comitato Tecnico, nel corso degli anni, hanno potuto registrare con precisione tutti gli esercizi eseguiti durante le competizioni di ginnastica artistica organizzate dalla F.I.G., riuscendo ad elaborare un elenco di simboli che rappresentano i movimenti e le posizioni possibili ai diversi attrezzi. Mediante l'utilizzo dei simboli, i giudici riescono a scrivere velocemente durante la competizione tutte le combinazioni dei movimenti dell'esercizio nei minimi dettagli, operando in questo modo una più corretta valutazione.

Inoltre l'utilizzo di una scrittura simbolica è utile per la comunicazione fra giudici di nazionalità diversa.

---

<sup>13</sup> La Giuria A è formata da un minimo di uno ad un massimo di due giudici.

<sup>14</sup> La Giuria B è formata da un minimo di uno ad un massimo di quattro giudici.

*Il Ginnasta d'elite*





### 3. IL GINNASTA D'ELITE

#### 3.1 LA STRUTTURA FISICA E LA PERFORMANCE DI SUCCESSO

Una performance ottimale è il risultato dell'influenza di molti fattori, come illustrato da più modelli per l'analisi delle competizioni sportive (*Franks et al., 1986; Norgan, 1994*).

I pre-requisiti del successo atletico in molti sport, si fondano in larga misura sulle caratteristiche fisiche, includendo tra queste le dimensioni antropometriche, il somatotipo e la composizione corporea.

Studi condotti su atleti ed atlete di livello nazionale, internazionale ed Olimpico mostrano differenze costanti nelle caratteristiche morfologiche, che variano a seconda dello sport praticato (*Carter et al., 1990; Tunner, 1964*).

In questo contesto risultano interessanti le asserzioni di Khosla e di Komadel:

*“... sebbene un fisico ideale non sia sufficiente da solo per condurre un atleta a livelli d'elite, la sua mancanza, in assenza di altri attributi desiderabili, potrebbe diventare un serio handicap per un atleta con la giusta motivazione” (Khosla, 1983);*

*“... il somatotipo <sup>15</sup> può diventare un fattore limitante l'attività agonistica in molti sport. E' solamente in casi rari che gli individui riescono a compensare le caratteristiche sfavorevoli del somatotipo con altre eccellenti capacità” (Komadel, 1988).*

Inoltre, l'importanza delle caratteristiche morfologiche è molto evidente soprattutto negli sport “artistici”, come ad esempio la ginnastica artistica, il pattinaggio artistico, i tuffi e così via, dove il corpo risulta essere il mezzo primario per l'ottenimento di alti punteggi nella performance e può influenzare direttamente la percezione della giuria (*Malina, 1999*).

L'importanza di una morfologia corporea “ginnico-specifica”, appropriata per giungere ai livelli più alti nelle competizioni della ginnastica artistica, è ben documentata (*Claessens et al., 1991a; Claessens, 1999b*).

Gli studi presenti in letteratura, che indagano sulla morfologia del ginnasta d'elite, sono concordi nel ritenere come i ginnasti di livello internazionale, sia di sesso maschile che femminile, siano dotati di caratteristiche fisiche molto particolari (*Malina, 1999*) quali: bassa statura, spalle ampie, fianchi stretti, scarsa massa grassa ed una muscolatura decisamente sviluppata (*Claessens, 1997*).

<sup>15</sup> Il Somatotipo è un sistema utilizzato per classificare la struttura fisica complessiva (costituzione corporea) di un soggetto, molto utilizzata per gli atleti. Proposto da Sheldon W., (1940) e modificato successivamente da Heath e Carter, e altri, (1967), lo studio del Somatotipo permette di ottenere un'analisi di tipo quantitativo per mezzo dell'individuazione di tre componenti che rappresentano le varianti estreme dei caratteri morfologici riscontrabili nella popolazione generale: l'endomorfia, la mesomorfia e l'ectomorfia.

Alcune ricerche suggeriscono che i ginnasti d'élite, nel momento in cui iniziano la pratica dell'attività ginnica, siano già in possesso dei pre-requisiti fisico-strutturali che li predispongono al raggiungimento di risultati eccellenti (*Richards, 1999; Basse et al., 2000*).

### 3.2 LA MORFOLOGIA

Oltre ad influenzare la psicologia dell'atleta, la struttura fisica ha un impatto significativo soprattutto nel raggiungimento di buoni risultati durante la competizione. (*Franks, 1986; Norgan, 1994*).

Riuscire ad individuare i fattori morfologici che potrebbero costituire un vantaggio in termini di prestazione, è utilissimo anche per la selezione dei giovani talenti, soprattutto per la ginnastica artistica (*Bloomfield, 1992; Komadel, 1988; Regnier et al., 1993*).

Come riportato in letteratura, i ginnasti di alto livello sono caratterizzati da: bassa statura, massa corporea ridotta, spalle larghe, bacino stretto (*Claessens et al., 1991a, 1992, Claessens, 1999b; Malina et al., 1999; Daly et al., 2000*) somatotipo ecto-mesomorfo per le donne (*Claessens, 1997*) e mesomorfo bilanciato per gli uomini (*Claessens et al., 1991a*). Inoltre i ginnasti hanno una bassa percentuale massa grassa ed un'alta percentuale di massa magra (*Claessen et al., 1999b; Brendon and Klentrou 2003*). Le ginnaste, a differenza dei colleghi maschi, (*Weimann, 2002; Shrier, 2004*) sono anche caratterizzate da una maturazione ritardata rispetto alle donne della stessa età (*Malina, 1999; Claessens, 1999b*).

Da recenti studi condotti su un ampio campione di ginnaste di alto livello, è emerso come queste ultime abbiano un ritardo di circa due anni nella comparsa del menarca rispetto alla media della popolazione europea e siano collocate intorno al 10° percentile delle Curve di Crescita<sup>16</sup> (*Beunen, et al., 1999; Malina et al., 1976*).

---

<sup>16</sup> Le curve di crescita sono dei validi strumenti per controllare la regolare crescita di un soggetto rispetto alla media della popolazione normale. I diagrammi percentili sono realizzati controllando il peso e l'altezza di migliaia di soggetti di età diverse ed elaborando i valori delle singole misure per classi d'età in termini di percentili. Di questi, quelli cui di solito ci si riferisce sono il 5°, il 10°, il 50°, il 90° ed il 95°. A seconda di come i dati del nostro soggetto si pongono rispetto a tali valori se ne valuta la normalità o meno di accrescimento. Nel caso specifico ci si riferisce a percentili sviluppati dal **National Center for Health Statistics, 2000** ([www.cdc.gov/nchs/](http://www.cdc.gov/nchs/)).

Diversi autori hanno rilevato come le caratteristiche morfologiche subiscano ulteriori caratterizzazioni all'interno dello stesso gruppo di ginnaste d'elite, evidenziando differenze per ciò che concerne la composizione corporea tra ginnaste "finaliste" e ginnaste "non finaliste" (*Falls e Humphrey, 1978*), e tra ginnaste che raggiungono bassi o più alti risultati (*Claessens et al., 1990; Pool et al., 1969*). Infatti, è stato riscontrato che le ginnaste internazionali che raggiungono posizioni elevate in classifica hanno generalmente una percentuale di massa grassa più bassa e siano meno endomorfiche e più mesomorfiche rispetto alle colleghe di pari livello che si classificano nelle posizioni più basse.

Tali osservazioni non possono essere confrontate con dati riguardanti la sezione maschile, a causa della scarsa letteratura presente sull'argomento (*Rodriguez Bies & Berral de la Rosa, 2006*).

### **3.3 STATURA E PESO**

Una vasta letteratura è stata prodotta in particolare sulla statura ed il peso dei ginnasti d'elite. Indipendentemente dall'età o dal livello competitivo, i ginnasti, sia maschi che femmine, sono significativamente più bassi e più magri rispetto ai loro coetanei (*Samela, 1979; Rich et al., 1992; Weimann, 2000; Daly et al. 2000*).

Confrontando l'altezza media ed il peso delle ginnaste Europee, Sud Africane e Americane con i dati relativi alla popolazione normale Americana, si evidenzia come le ginnaste siano collocate tra il decimo (P10) e il cinquantesimo percentile (P50), anche se la maggior parte è generalmente vicina a P10 (*Malina., 1966*). Anche l'analisi dei dati presenti in letteratura sulla sezione maschile confermano questa linea di tendenza; infatti, i ginnasti risultano essere gli sportivi con i più bassi valori di statura e peso (*Leone e Larivière, 1998*). Lo studio condotto da Weimann et al. (1999), pone in evidenza come il peso e la statura del campione di ginnaste d'elite tedesche da loro esaminato si collochi al di sotto del 12° percentile dei normali valori riferiti alle coetanee adolescenti tedesche (*Brandt et al., 1988*). Lo stesso studio, condotto sui ginnasti d'elite maschi tedeschi, rileva come il peso e la statura abbiano, a livello percentile, valori leggermente superiori rispetto a quelli riscontrati per le ginnaste (*Weimann et al. 1999*). Infatti nei ginnasti maschi il peso e l'altezza hanno un range di variabilità compreso tra il 3° ed il 90° percentile della tabella per la popolazione normale tedesca della stessa età (*Brandt et al., 1988*), anche se la media è compresa tra il 25° ed il 50° percentile.

Altri studi mostrano che i ginnasti maschi hanno generalmente una statura inferiore rispetto alla media della popolazione non-sportiva (*Buckler and Brodie, 1977; Rich et al., 1992; Daly et al., 1998*), e attribuiscono questo risultato a cause ereditarie piuttosto che a fattori correlati alla tipologia dell'allenamento. Un supporto a quest'ultima affermazione arriva dallo studio longitudinale di Baxter-Jones et al., (1995) condotto sulla crescita e lo sviluppo di atleti di sesso maschile praticanti ginnastica artistica, nuoto, calcio e tennis. Gli autori evidenziano che la statura dei genitori dei ginnasti è significativamente inferiore rispetto a quella dei genitori degli atleti praticanti nuoto, tennis e calcio.

Alcuni autori hanno analizzato le variazioni del peso e della statura delle ginnaste nel corso degli ultimi anni. Uno studio condotto sulle ginnaste d'élite, partecipanti a campionati di livello internazionale durante il periodo di tempo compreso tra il 1964 ed il 1987, evidenzia un trend decrescente per età, statura e peso. Infatti, le ginnaste protagoniste alle Olimpiadi di Tokio nel 1964, per esempio, avevano un'età media di 22.7 anni, una statura di 157 cm ed un peso pari a 52 kg (*Hirata K., 1966*).

Durante i Campionati Mondiali di Rotterdam del 1987, le ginnaste erano alte 154.3 cm (SD 6.5 cm), avevano in media, 16.5 anni ed un peso di 45.6 kg (SD 6.3 kg) (*Claessens, 1999*). Le atlete che invece presero parte, nel 1997, ai Campionati del Mondo di Losanna, dimostrarono di essere più "vecchie" rispetto alle colleghe degli anni precedenti (età media 17.4 anni) riflettendo, in tal modo, le regole emanate dalla Federazione Internazionale di Ginnastica (FIG) che, nel frattempo, aveva innalzato l'età minima per la partecipazione delle atlete alle competizioni internazionali (da 15 anni a 16 anni). Le ginnaste partecipanti ai Giochi Olimpici di Sydney nel 2000, nonostante l'età media di 18 anni, continuarono a manifestare il trend secolare orientato verso basse stature (152 cm) e pesi ridotti (43 kg) (*Borms e Caine, 2003*).

Questo trend, caratterizzato da stature più basse e pesi più ridotti, può essere in parte attribuito alla naturale selezione basata sul diretto vantaggio bio-meccanico di un fisico pre-puberale che includa un incremento nel rapporto forza/peso, maggiore stabilità e decremento dei momenti di inerzia <sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> Il momento di inerzia è una grandezza fisica utile per descrivere il comportamento dinamico dei corpi in rotazione attorno ad un asse. Tale grandezza tiene conto di come è distribuita la massa del corpo attorno all'asse di rotazione e dà una misura dell'inerzia del corpo rispetto alle variazioni del suo stato di moto rotatorio.

Questi parametri permettono l'esecuzione di movimenti più complessi, oscillazioni più facili sulle parallele asimmetriche, maggiore stabilità sulla trave di equilibrio, e rotazioni più agevoli durante i salti acrobatici al corpo libero.

### **3.4 IL SOMATOTIPO**

Il somatotipo descrive le caratteristiche strutturali di una persona quantificandone la costituzione corporea in termini numerici riferiti alla forma del corpo, indipendente dall'età o dal genere (*Carter et al., 1990*).

La stima è basata su tre componenti: endomorfia, mesomorfia ed ectomorfia.

Queste componenti descrivono rispettivamente il grado dell'adiposità, lo sviluppo muscolo-scheletrico, e la longinearità del corpo.

Ogni componente è espressa teoricamente come un numero su una scala continua che parte da 0.5 senza un limite superiore. Il somatotipo descrive il tipo di struttura fisica che un soggetto ha e come questa appare. Solitamente, si usa descrivere e comparare i fisici degli atleti a tutti i livelli di competizione ed in una varietà di sport, inclusa la ginnastica artistica. Il Somatotipo degli atleti praticanti differenti discipline sportive è in generale piuttosto diverso (*Duquet et al., 2001*).

Le reviews sul somatotipo dei ginnasti d'élite indicano delle forti differenze rispetto ai campioni di riferimento. Tuttavia è ben evidente che, mentre le singole componenti del somatotipo possono variare da un ginnasta all'altro, la componente dominante rimane sempre costante (*Samela, 1979; Broekhoff et al., 1986; Carter et al., 1990; De Garay et al., 1974; Caine et al., 1989*). Infatti, nelle ginnaste la mesomorfia è, pressoché senza eccezione, la componente dominante e l'ectomorfia risulta maggiore dell'endomorfia.

Questo somatotipo è identificato come ecto-mesomorfo e differisce da quello delle donne sedentarie, che tipicamente tendono ad essere più endomorfiche e meno mesomorfiche (*Broekhoff et al., 1986*). Anche il Somatotipo dei ginnasti maschi si caratterizza per avere la mesomorfia come componente dominante. Quest'ultima però assume valori nettamente superiori rispetto a quelli riscontrati per le ginnaste. Il somatotipo così identificato viene definito mesomorfo bilanciato, si differenzia rispetto al somatotipo medio di atleti maschi praticanti altre discipline sportive (*Rienzi et al., 2000; Gualdi-Russo e Zaccagni, 2001; Mendez-Villanueva e Bishop, 2005*). Differenze nel valore delle componenti mesomorfiche ed endomorfiche sono state riscontrate tra ginnasti di diverse nazionalità. Uno studio condotto su ginnasti argentini di livello internazionale (*Rodriguez Biez et al., 2006*)

evidenza come questi abbiano valori mesomorfici ed endomorfici più elevati rispetto ai colleghi di livello mondiale ed olimpico provenienti da altre nazionalità.

Una revisione dei dati pubblicati sul somatotipo medio delle ginnaste d'élite, mostra un andamento decrescente dei valori endomorfici fra le concorrenti internazionali delle Olimpiadi del Messico del 1968 (endo: 2.7) e quelle del Campionato Mondiale del 1987 (l'endo: 1.8) (*Claessens et al., 1991a; De Garay et al., 1974; Carter, 1981; Carter et al., 1982a*). Maggiori livelli di performance sembrano essere associati con valori endomorfici più bassi. Per esempio, Falls e Humphrey (1978) osservarono che durante il Campionato AIAW nel 1976 (Association for Intercollegiate Athletics for Woman) le ginnaste classificate nelle prime posizioni erano meno endomorfe e più mesomorfe delle altre. È evidente che un fisico ideale esiste ed è caratteristico delle ginnaste di successo.

Gli aspetti biomeccanici del movimento ginnico sembrano favorire le atlete con un fisico lineare, una endomorfia relativamente bassa e una mesomorfia decisamente sviluppata.

La risultante di una morfologia di questo tipo è data dall'incremento del rapporto forza-peso che produce quella maggiore facilità di esecuzione necessaria per il successo in uno sport caratterizzato da movimenti che si sviluppano contro la forza di gravità (*Samela, 1979; Bale et al., 1987*). Mentre è probabile che la componente genetica favorisca alcuni soggetti piuttosto che altri, nello sviluppo di un fisico di successo per la ginnastica artistica, è altrettanto probabile che la selezione operata dai tecnici, l'allenamento e la dieta siano fattori fondamentali per lo sviluppo della prestazione d'élite (*Carter e Braillier, 1988*).

### 3.5 LE PROPORZIONI CORPOREE

La proporzionalità è la relazione esistente tra le parti del corpo con altre parti del corpo o con il corpo considerato nella sua globalità (*Ross WD., et al., 1991*). Per esempio, il rapporto tra Statura da seduto e Statura Totale è un indice del contributo degli Arti Inferiori alla Statura. Questo rapporto può essere diverso per gli atleti che praticano differenti discipline sportive: avere una bassa statura da seduto e arti inferiori lunghi, per esempio, si può configurare come un vantaggio biomeccanico per alcuni sport ma non per altri, come ad esempio i saltatori in alto ed in lungo.

Compare con i dati di riferimento, relativi a ragazze non-sportive, le ginnaste hanno in media spalle e fianchi più stretti ed una lunghezza degli arti inferiori minore (*Claessens et al., 1991a; 1992; Claessens, 1999b*).

Un importante studio trasversale condotto su ginnaste di livello internazionale (*Claessens et al., 1991a; 1992; Claessens, 1999b*), forse il gruppo più rappresentativo di ginnaste d'élite mai studiato, ha messo in evidenza come, a livello di percentile, le ginnaste abbiano valori inferiori di statura da seduto (P6) e di diametro bi-iliaco (P7), ed ad una minore lunghezza degli arti inferiori (P17), del diametro biacromiale (P20) e della lunghezza dell'avambraccio (P26) in rapporto ai valori dei percentili propri delle coetanee non-sportive.

Se però si considera il rapporto tra larghezza bicrestiliaca e larghezza biacromiale, le ginnaste hanno proporzionalmente le spalle più larghe rispetto alle coetanee non atlete della stessa età (*Claessens et al., 1991a*).

Broekhoff (*Broekhoff et al., 1986*) comparò le caratteristiche antropometriche di 18 ginnaste femmine con gruppi di controllo formati da non-atleti di pari età. In rapporto alla statura, le ginnaste avevano una circonferenza del braccio ed un diametro omerale significativamente superiori, spalle più larghe e anche più strette.

In modo analogo, Nadgir (*1988*) nel suo studio riportò che le ginnaste erano significativamente più leggere, possedevano valori di lunghezza degli arti superiori maggiori, circonferenza dell'avambraccio e larghezza delle spalle significativamente superiori rispetto alle ragazze appartenenti al gruppo di controllo di pari età.

Questo prevalente sviluppo degli arti superiori, rispetto a quelli inferiori, è stato riportato spesso in letteratura (*Beunen et al., 1981; Bernink et al., 1983; Claessens 1999b; Brisson et al., 1983; Vercruyssen, 1984*) e suggerisce un vantaggio nella performance ginnica che richiede, per l'appunto, l'esecuzione di una miriade di movimenti in appoggio e in sospensione sugli arti superiori.

Per ciò che concerne gli studi condotti sulla sezione maschile, appare interessante un lavoro condotto su 31 ginnasti maschi in età pre-puberale e puberale (*Daly et al., 2000*). I risultati dello studio evidenziano una più bassa statura nei ginnasti, rispetto al gruppo di controllo formato da 51 soggetti non-atleti di pari età. Questa differenza staturale è dovuta più ad una riduzione nella lunghezza degli arti inferiori che non alla lunghezza del tronco.

Lo studio di LeVeau et al., (*LeVeau et al., 1974*) condotto sui ginnasti delle Squadre Nazionali Giapponese e Americana ha posto in evidenza differenze significative nelle proporzioni corporee tra i due gruppi di ginnasti. In particolare, come evidente dai risultati del lavoro, i ginnasti giapponesi hanno gli arti inferiori più corti, una statura più bassa ed un peso più leggero rispetto al gruppo di colleghi statunitensi esaminati nello stesso studio.

LeVeau et al., concludono che i ginnasti giapponesi sono dotati di un vantaggio biomeccanico per la performance in molte specialità della ginnastica.

### 3.6 LA COMPOSIZIONE CORPOREA

Lo studio della composizione corporea consente di descrivere e quantificare le componenti dei tessuti della massa del corpo.

Dati sulla composizione corporea delle ginnaste sono stati riportati in molti studi (*Peltenburg et al., 1984a; Weimann et al., 2000; Falls e Humphrey, 1978; Brisson et al., 1983; Vercruyssen, 1984; Slaughter et al., 1981; Fleck, 1983*), viceversa una scarsa letteratura riferisce sulla composizione corporea dei ginnasti maschi.

Molto spesso, inoltre, i dati reperibili sono difficili da comparare tra loro a causa delle differenti metodologie adottate per la misurazione della composizione corporea (Tabella 3.1). Ad esempio, non tutti gli studi che hanno optato per il metodo antropometrico hanno utilizzato le stesse equazioni per determinare il relativo grasso del corpo (Tabella 3.1).

Inoltre, quando il metodo idrostatico<sup>18</sup> ed il metodo antropometrico sono stati comparati (*Bale e Goodway, 1987; Slaughter et al., 1981*), il primo ha dato luogo a valori più elevati di percentuale di grasso (%F).

Per i ginnasti analizzati nello studio condotto da Bale e Goodway (1987), l'utilizzo del metodo antropometrico dava costantemente valori di densità corporea più elevati e una percentuale di grasso più alta di quanto si otteneva con l'utilizzo del metodo idrostatico.

Pertanto, un paragone della composizione corporea tra studi che si basano su presupposti tanto diversi, può compromettere in maniera importante l'interpretazione dei risultati.

Un'altra limitazione potenziale nelle comparazioni tra studi della composizione corporea, può essere l'età e la maturità dei soggetti.

Ad esempio, Brisson (*Brisson et al., 1983*), in un campione di ginnaste, ha osservato un incremento della densità corporea ed un aumento percentuale del grasso con l'avanzare dell'età.

---

<sup>18</sup> Il metodo più rappresentativo è la pesata idrostatica che è stata per molti anni, ed ancora in parte lo è, la metodologia di riferimento, il "Gold Standard" delle tecniche di misurazione della composizione corporea. Pesando l'atleta immerso in acqua, grazie al principio di Archimede si può calcolare la densità corporea e quindi le percentuali di massa grassa e magra.



**Tabella 3.1** Schemi di composizione corporea ed equazioni per atleti

	MODELLO	EQUAZIONE	BIBLIOGRAFIA
2 COMPONENTI	<b>PESO CORPOREO</b> = massa grassa + massa magra	% GRASSO CORPOREO = $[(4.57 / \text{densità corporea totale}) - 4.142] \times 100$	Brozek et al., 1963
		% GRASSO CORPOREO = $[(4.57 / \text{densità corporea totale}) - 4.50] \times 100$	Siri, 1956
3 COMPONENTI	<b>PESO CORPOREO</b> = massa grassa + acqua + minerali e proteine	% GRASSO CORPOREO = $[(2.118 / \text{densità corporea totale}) - 0.78 W - 1.354] \times 100$	Siri, 1961a
		% GRASSO CORPOREO = $[(6.386 / \text{densità totale del corpo}) + 3.96 M - 6.090] \times 100$	Lohman, 1986
	<b>PESO CORPOREO</b> = minerale osseo + tessuto magro senza osso + massa grassa	% GRASSO CORPOREO = massa grassa / peso corporeo $\times 100$	Ellis, 2000
4 COMPONENTI	<b>PESO CORPOREO</b> = massa grassa + acqua + minerale osseo + proteine	% GRASSO CORPOREO = $[(2.559 / \text{densità totale del corpo}) - 0.734 W + 0.983 B - 1.841] \times 100$	Friedl et al., 2001
		% GRASSO CORPOREO = $[(2.747 / \text{densità totale del corpo}) - 0.744 W + 0.146 B - 2.053] \times 100$	Selinger, 1977
		% GRASSO CORPOREO = $[(2.747 / \text{densità totale del corpo}) - 0.718 W + 0.1486 B - 2.050] \times 100$	Heymsfield et al., 1996 Baumgartner et al., 1991
Legenda:	<b>M= Minerali Corporei Totali (Kg)/Peso Corporeo</b>		
	<b>W= Acqua Corporea Totale (Kg)/Peso Corporeo (Kg)</b>		
	<b>B= Massa Minerale Ossea Totale/Peso Corporeo (Kg)</b>		

Al contrario Haywood (Haywood et al., 1986), nello studio che aveva come oggetto un gruppo di ginnaste in fase pre-puberale, non ha trovato nessuna relazione tra incremento percentuale della massa grassa ed età, anche se questo risultato potrebbe riflettere l'im maturità dei soggetti.

A tale proposito Peltenburg (Peltenburg et al., 1984b) aveva osservato un contrasto molto forte nella percentuale del grasso corporeo in uno studio trasversale comparativo tra ginnaste in fase pre-puberale e puberale.

Weimann (2002) ha analizzato in uno studio longitudinale, la composizione corporea di ginnasti d'élite tedeschi (22 femmine e 18 maschi) in allenamento presso il centro di preparazione Olimpica di Francoforte sul Meno. Ne è risultato che i valori dell'Indice di Massa Corporea (BMI), Massa Grassa (FM) e Massa Magra (FFM) differivano significativamente durante le fasi pre-puberale e puberale nelle ginnaste, mentre nei ginnasti le differenze si evidenziavano solo per il BMI e la FFM. La composizione corporea mostrava pattern diversi nei due sessi durante la maturazione sessuale: nelle ginnaste si evidenziava uno sproporzionato incremento della massa grassa, mentre nei ginnasti la massa magra incrementava proporzionalmente al peso corporeo. La percentuale di grasso era in media significativamente più alta nelle ginnaste rispetto ai ginnasti (14 vs 10.4%). In entrambi i sessi, la percentuale di grasso era comunque significativamente inferiore rispetto ai soggetti (non sportivi) di pari età. Inoltre nelle ginnaste la percentuale media di massa grassa passava dal 12.3 al 15% durante lo sviluppo puberale, nei ginnasti presentava un decremento dal 13 al 9.2%.

Anche il livello competitivo dei soggetti è un fattore da considerare quando si intende confrontare la composizione corporea in gruppi diversi di ginnaste.

Bale e Goodway (1987) in particolare hanno osservato una sostanziale riduzione della percentuale di grasso corporeo nelle ginnaste d'élite rispetto ad un gruppo formato da ginnaste di livello inferiore.

Falls e Humphrey (1978) avevano rilevato che le atlete migliori del campionato AIAW del 1976 (Association for Intercollegiate Athletics for Woman) avevano una percentuale di grasso corporeo più bassa (16.32%) rispetto alle colleghe che si piazzavano a fine classifica (18.41%). Questo risultato appare chiaro se si considera la risposta prodotta dai volumi di allenamento, che sono più elevati per le atlete che raggiungono livelli agonistici elitari. Inoltre, non è sorprendente che dai confronti effettuati tra ginnaste e non-sportive la percentuale di grasso corporeo risulti costantemente inferiore nelle atlete (*Peltenburg et al., 1984a; Broekhoff et al., 1986; Theintz et al., 1989; Brisson et al., 1983; Eston et al., 1986*).

Tutte le tecniche di analisi della composizione corporea hanno comunque dei limiti. Per esempio, la trasformazione che conduce dalla densità corporea <sup>19</sup> alla percentuale di grasso,

---

<sup>19</sup> La Densità corporea è data dal rapporto tra il peso e il volume del corpo, ed è a sua volta sommatoria delle diverse densità della massa magra e della massa grassa

attuata mediante l'utilizzo della formula di Siri (1961a), può comportare dei potenziali problemi; infatti gli atleti, avendo in media una più densa struttura ossea e una maggiore massa muscolare, vengono sottovalutati in termini di percentuale di grasso corporeo. Ciò può aiutare a spiegare i valori estremamente bassi riportati in letteratura della percentuale di grasso (Henschen et al., 1988), che però si osservano anche considerando i soli pannicoli adiposi sottocutanei.

Appare quindi fondamentale la selezione di un'adeguata equazione per il calcolo della composizione corporea. Ci sono comunque equazioni sviluppate sugli sportivi, anche se poterne sviluppare delle più specifiche sarebbe meglio.

Premesso ciò, dagli studi scientifici emerge che il successo nella performance dei ginnasti d'élite, in riferimento sia alla competizione che alle sedute di allenamento, è associato con un basso livello di grasso corporeo.

Una bassa percentuale di tessuto adiposo conferisce chiaramente un beneficio ai ginnasti, in quanto il corpo si trova ad essere continuamente elevato contro la forza di gravità; in questo modo il tessuto non produttivo di forza (massa grassa) può solo dare luogo ad inefficienze (Bale e Goodway, 1987).

In relazione all'aumento della percentuale del grasso corporeo, tipicamente associato con la pubertà nelle donne, non sorprende che, nella ginnastica artistica, si verifichi una selezione sportiva a favore dei soggetti tendenti ad una maturazione tardiva.

Le donne che maturano più tardi hanno, infatti, a parità di età cronologica, hanno meno peso e bassa statura, anche strette e specialmente meno grasso sottocutaneo (Malina, 1994).

Sfortunatamente però, alcune ginnaste tendono ad avere una dieta povera di contenuti essenziali e dei comportamenti alimentari molto rigidi (O'Connor et al., 1995; 1996; Rosen et al., 1988). Anche se, in anni recenti, è stato fatto uno sforzo considerevole per migliorare le cose in questo settore, è discutibile il fatto che vi sia attualmente un valido approccio nella gestione della nutrizione e nella pratica del controllo del peso nelle giovani ginnaste.

I disordini alimentari, l'amenorrea e l'osteoporosi, che comportano la cosiddetta *Sindrome della "Triade delle atlete"*<sup>20</sup>, sono problemi importanti per le giovani atlete per le quali il

---

<sup>20</sup> 'triade delle atlete', un termine coniato nel 1992 dall'American College of Sports and Discipline Medicine per descrivere una condizione che minaccia non solo le professioniste dello sport, ma in generale tutte le donne che praticano molta attività fisica senza alimentarsi correttamente. La sindrome è caratterizzata principalmente da disturbi alimentari, osteoporosi e amenorrea.

controllo del peso diventa un fattore limitante la prestazione sportiva (*Putukian, 1994; Vereeke West, 1998*). Nelle ginnaste però, è stato riscontrato che dei 3 elementi che compongono la Sindrome della Triade delle Atlete (osteoporosi, amenorrea e disturbi alimentari) viene a mancare l'osteoporosi. Questo perché, la Ginnastica Artistica è un'attività ad alto impatto che, se praticata regolarmente, favorisce l'acquisizione della massa ossea nei bambini. Per esempio, studi condotti su ginnasti in fase pre e peri-puberale hanno rilevato un più alto valore della Densità Minerale Ossea (BMD) regionale e totale rispetto a bambini non sportivi dello stesso sesso ed età (*Dyson et al., 1997; Bass et al., 1998; Nichols-Richardson et al., 1999; Laing et al., 2002; Zanker et al., 2003*). Una parte di questi studi sono di tipo longitudinale, ed hanno mostrato nei ginnasti incrementi di massa ossea a carico di determinate regioni dello scheletro che superano di gran lunga quelli osservati nei bambini non sportivi (*Bass et al., 1998; Nichols-Richardson et al., 1999; Laing et al., 2002*).

Nonostante i considerevoli passi avanti sino ad ora effettuati, rimane ancora molto lavoro per capire la miriade di problemi che le ginnaste e le altre atlete devono affrontare per il controllo del peso.

Una lettera inviata all'editore della rivista "*Medicine and Science in Sport and Exercise*" ha focalizzato il problema (*Di Pietro et al., 1997*), evidenziando come debbano essere analizzati gli sviluppi della ginnastica al fine di individuare tutti i fattori coinvolti nella triade dell'atleta: *predisponenti, abilitanti e rinforzanti*.

*I fattori che predispongono* includono la "magrezza", la bassa autostima, le tendenze ossessive/compulsive, la depressione e altre caratteristiche.

*I fattori abilitanti* si concretizzano negli elementi che inducono o favoriscono l'esplicitazione dei fattori predisponenti, come per esempio un ambiente che favorisca distorsioni della percezione del proprio peso e dell'immagine di sé.

Infine, *i fattori che rinforzano* comprendono gli allenatori, i genitori, gli altri atleti, i giudici ed una società fortemente ossessionata dal peso corporeo (*Di Pietro et al., 1997*).

La necessità per le ginnaste di raggiungere buoni risultati non cambierà. Allo stesso modo, i problemi estetici e le relative pressioni finalizzate al raggiungimento di un aspetto fisico caratteristico della disciplina sportiva non cambieranno.

Una comprensiva conoscenza dei fattori predispositivi, dei fattori abilitanti e rinforzanti può determinare una potenziale efficacia degli interventi.

### **3.7 CRESCITA E MATURAZIONE**

La crescita si riferisce agli aumenti, nelle dimensioni e nel peso, ed ai relativi cambiamenti nelle proporzioni e nella composizione del corpo, mentre la maturazione è inerente alla sincronizzazione degli “eventi” ed agli stadi del progressivo avanzamento verso lo stato maturo.

La maturazione è osservata spesso nel contesto dell'età scheletrica, dell'età somatica, dell'età al picco di velocità di crescita per l'altezza, dell'età al menarca e della maturazione sessuale.

Le reviews degli studi trasversali condotti sulle ginnaste, indicano che i tratti distintivi della maturità, inclusi l'età scheletrica (*Theintz et al., 1989; Weimann et al., 1999; Caine et al., 1992*), l'età al menarca (*Bernink et al., 1983; Poltenburg et al., 1984; Haywood et al., 1986; Bale et al., 1996; Claessens et al., 1992; Kirchner et al., 1995; Lindholm et al., 1995*) e lo sviluppo delle caratteristiche sessuali secondarie (*Bernink et al., 1983; Peltenburg et al., 1984a; Theintz et al., 1989; Nichols JE et al., 1995*), compaiono significativamente più tardi nelle ginnaste rispetto alle coetanee non atlete. Le stesse considerazioni non possono essere ritenute valide per la sezione maschile. Daly e collaboratori (*Daly et al., 1998*) non riscontrano alcuna differenza per ciò che concerne la maturazione sessuale (tutti i soggetti si collocavano allo stadio puberale 2 basato sul livello totale di testosterone e sullo stadio di Tanner) tra gruppo di ginnasti d'elite e gruppo di controllo formato da soggetti non ginnasti di pari età. Gurd e Klentrou (2003) hanno esaminato 29 ginnasti d'elite canadesi, non trovando differenze significative in termini di maturazione sessuale nei livelli di testosterone, rispetto al gruppo di controllo formato da soggetti non ginnasti di pari età. Anche nello sviluppo genitale (Stadio di Tanner 1-5) o nello sviluppo dei peli pubici (Stadio di Tanner 1-5) non venne riscontrata alcuna differenza significativa tra i due gruppi.

Viceversa, molti risultati degli studi condotti sulle ginnaste d'elite, (*Samela, 1979; Theintz et al., 1993; Lindholm et al., 1994; Bass et al., 2000; Pentelburg et al., 1984; Lindholm et*

*al.*, 1995; Bass, 2000; Haywood, 1980) indicano dei pattern auxologici che si concretizzano in una crescita lenta ed una maturazione ritardata rispetto ai gruppi di controllo, e forse non diversa da altre bambine caratterizzate da una normale lenta maturazione (*Kamis et al.*, 1995).

Questi risultati dovrebbero comunque essere valutati prudentemente per diverse ragioni. In primo luogo, avere una media di dati può rimuovere alcune informazioni importanti, relative ed essenziali. Per esempio, non tutte le ginnaste dell'élite hanno una maturazione ritardata; infatti, alcune atlete, hanno un normale o addirittura anticipato sviluppo puberale rispetto alla media (*Classens et al.*, 1992).

In secondo luogo, la maggior parte degli studi non avevano una durata adeguata e non misuravano i soggetti durante l'infanzia e negli anni dell'adolescenza (*Samela*, 1979; *Haywood et al.*, 1986; *Theintz et al.*, 1993; *Bass et al.*, 2000; *Courteix et al.*, 1998).

Infine, la maggior parte delle ginnaste studiate non si allenavano per più di 20 ore alla settimana (*Haywood et al.*, 1986; *Lindholm et al.*, 1994; *Courteix et al.*, 1999; *Zonderland et al.*, 1997; *Baxter Jones and Helms*, 1996).

***Aspetti Genetici legati alla Performance Sportiva d'elite***





## **4. ASPETTI GENETICI LEGATI ALLA PERFORMANCE D'ELITE**

### **4.1 SPORT, GENETICA E I LIMITI DELLE PRESTAZIONI UMANE**

Poche altre attività umane, al pari dello sport, consentono di dimostrare quanto la volontà, l'abnegazione ed il costante allenamento, uniti ad una base di "talento innato", consentano di raggiungere soglie di eccellenza tali da sfiorare la perfezione.

L'importanza di comprendere come la specie umana sia capace di sfidare i propri limiti fino all'estremo ed il fascino di scoprire i tratti che conducono il volo di un atleta sul gradino più alto del podio, portano oggi scienziati e studiosi di tutto il mondo ad unire le proprie forze per individuare i geni potenzialmente in grado di influenzare il raggiungimento di risultati eccellenti nello sport.

Infatti, l'atleta spende gran parte delle energie fisiche nella fase di preparazione alla gara, con l'obiettivo di migliorare la prestazione atletica. Tuttavia, a parità di protocolli di allenamento utilizzati, i risultati sono alquanto diversi da soggetto a soggetto.

Qual è il misterioso ed inafferrabile "quid" che rende un atleta "migliore" o di maggior rendimento o più costante nei risultati o più affidabile nei momenti importanti di una gara, di un altro di pari capacità e possibilità? E, più in generale, "cosa" fa emergere un atleta dalla "media"?

Sono queste le domande che più frequentemente vengono formulate da atleti, professionisti e non, delle più disparate discipline sportive.

Gli studiosi stanno, ormai da tempo, lavorando per fornire una risposta a queste domande. Nel tentativo di trovare una soluzione all'atavico quesito se campioni si nasca o si diventi, sono stati investiti denaro, risorse umane e tempo; attualmente, l'individuazione, la selezione e la comprensione delle caratteristiche del talento, rappresentano le colonne portanti di uno sviluppo dello Sport che sia diretto al raggiungimento di risultati di alto livello.

Dal punto di vista dell'attuale Scienza dello Sport, l'elaborazione del problema talento ha limitato il concetto di talento stesso ad una particolare predisposizione genetica specifica, "superiore alla media". Un contributo inestimabile alla ricerca in codesta direzione è stato fornito inizialmente dal Progetto Genoma Umano (*Collins et al., 2003*), il quale ha segnato una nuova era nell'impegno mondiale riguardo all'applicazione della tecnologia del DNA per lo studio dello sviluppo e della salute dell'uomo. Successivamente, con l'International HapMap Project (*The International HapMap Consortium, 2003;2004;2005; 2005;*

*Thorisson et al., 2005*), dal valore di circa 100 milioni di dollari US, si è creata una mappa del genoma umano di nuova generazione. Infatti, a differenza del precedente Progetto Genoma Umano, orientato all'identificazione delle *similarita'* nel DNA, il nuovo HapMap Project cerca di identificare le *variazioni* all'interno del genoma umano ed in particolare di individuare i geni correlati con le malattie comuni quali asma, neoplasie, diabete e malattie cardiovascolari.

In modo più attinente al campo di studio in oggetto, un contributo sicuramente più specifico è stato fornito da un altro Progetto, denominato *The Human Gene Map for Performance and Health-Related Fitness Phenotypes* (*Rankinen et al., 2006*), che ha unito le risorse di 5 diversi laboratori nel mondo per creare un lavoro di squadra che ha condotto gli studiosi alla descrizione della prima *mappa genetica umana* per la performance d'élite.

## **4.2 ESPRESSIONE GENICA E VARIABILITA'NELLA POPOLAZIONE**

### **SPORTIVA**

“L'uomo è, come per la gran parte delle specie animali superiori, fortemente politipico e polimorfico. Politipico perché ognuno di noi è riconoscibile geneticamente se confrontato con un nostro conspecifico che non sia il gemello monozigotico, polimorfico perché ogni individuo ha delle caratteristiche fenotipiche e genetiche che fanno sì che sia ascrivibile ad un tipo umano e ad un pool genetico particolare” (*Sineo, 2004*).

L'esercizio fisico è un insieme complesso di fenomeni che comportano l'integrazione di numerosi sistemi anatomici e fisiologici.

L'adattamento necessario per produrre un movimento coordinato, riducendo al minimo le possibili perturbazioni dell'equilibrio omeostatico, avviene con cambiamenti a livello dei tessuti e delle cellule e dipende dall'espressione genica.

Infatti a seconda di come si esprimono i geni, il muscolo scheletrico può risultare più o meno affaticabile e il sistema cardiocircolatorio più o meno efficiente” (*Vona et al. 2005*).

### **4.2.1 Variabilità nella sequenza del DNA**

Un gene è composto da una parte “promotrice” e da una parte “codificante”. La parte “*promotrice*” stabilisce “quando” e “quanto” un gene deve esser letto, viceversa la parte “*codificante*” determina “cosa” il gene produce.

Per esempio, il gene si può mutare nella sua parte codificante (ciò che potrebbe condurre alla sostituzione di un amminoacido) variando in tal modo leggermente l'informazione sul prodotto che a sua volta può influenzare l'azione. In alcuni casi, un tipo di mutazione così determinata, può inserire l'informazione "STOP" (fine della catena) al posto di un amminoacido. Sarà allora prodotta una proteina tronca (di conseguenza molto spesso non funzionale) che condurrà ad effetti più gravi.

Allo stesso modo, la sostituzione di un nucleotide del DNA con un'altro potrà modificare sia la dinamica sia il livello di espressione di un gene. Questo genere di mutazione, che affligge solitamente ed unicamente un singolo nucleotide del DNA, è definita *Single Nucleotide Polymorphism (SNP)* (per approfondimenti vedasi Thorisson and Stein, 2003).

La visione classica attribuisce alle SNP la maggior percentuale della variabilità genetica fra individui. Dalle procedure di sequenziamento del genoma umano (Venter *et al.*, 2001, *International Human Genome Sequencing Consortium*, 2001) è emerso che alcune regioni della molecola del DNA sembrano esser state originate da duplicazioni di parti della sequenza stessa. Queste duplicazioni si presentano in tutti gli individui di cui è stata ricostruita la sequenza. Il metodo stesso del sequenziamento pone in evidenza, però, la presenza di regioni recentemente duplicate, differenti a seconda dell'individuo analizzato. Rimangono un'incognita sia la frequenza con la quale questo polimorfismo si presenta all'interno della popolazione, sia il suo contributo alla variabilità fra individui (Venter *et al.*, 2001).

Diversi studi sono stati condotti per la valutazione della frequenza di queste duplicazioni (o perdite) di intere regioni del DNA. (Fredman *et al.*, 2004; Sebat *et al.*, 2004). Visto che questa variabilità è inerente il numero di copie con cui una regione genomica è presente in un individuo, il fenomeno prende il nome di *Copy Number Polymorphism*, (CNP). Recenti studi hanno cercato di porre in evidenza la reale portata delle Copy Number Polymorphism sul genoma.

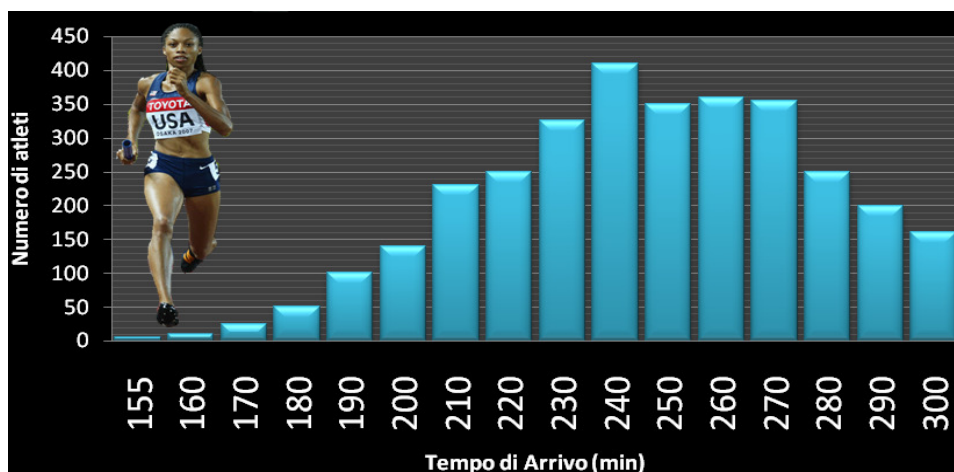
Un interessante lavoro, in particolare (Redon *et al.*, 2006), ha indagato le CNP di grossa taglia, (tra i due e i trecentomila nucleotidi), evidenziando l'esistenza di almeno 1447 diverse CNP in un campione di 290 individui sani. I 290 individui (provenienti dal Progetto HapMap), appartenevano a quattro differenti popolazioni: una di origine europea (USA), una di origine africana (Nigeria) e due di origine asiatica (Cina e Giappone). Ciò ha reso possibile una valutazione ottimale della variabilità delle CNP nella popolazione umana. Si è scoperto che il 12% del genoma umano risulta esser soggetto a variazioni di genere CNP, le quali portano segni evidenti di pressioni evolutive che, in alcuni casi,

sembrano avere variazioni da una popolazione all'altra. Alcune classi di geni sembrerebbero riscontrarsi in maniera più frequente nelle regioni interessate da CNP. Tra queste classi vi sono i geni implicati nell'*adesione cellulare*, nella *percezione sensitiva* ma anche i geni coinvolti nello *sviluppo del sistema nervoso e nella regolazione del metabolismo* (Sebat et al., 2004). Altri geni, come per esempio quelli implicati nella regolazione del *ciclo di riproduzione* e nella *segnalica cellulare* risultano invece esser sotto rappresentati nelle CNP. Questa diversità di rappresentazione genica nelle CNP, potrebbe essere causata da fenomeni di pressione selettiva (nel primo caso positiva<sup>21</sup> e nel secondo caso negativa<sup>22</sup>).

Un altro studio (Stranger et al., 2007), che si è focalizzato sulle modalità con le quali le CNP possono contribuire alla variabilità dell'espressione genica, ha messo in evidenza che tra il 10 e il 20% dell'intera differenza di espressione genica fra un individuo e l'altro è imputabile alle CNP. Questi ed altri risultati hanno reso le CNP una delle metodologie attualmente più utilizzate. Un importante sforzo per identificare ulteriori CNP è attualmente in corso (The Human Genome Structural Variation Working Group, 2007).

#### 4.2.2 La Variabilità nella prestazione Umana

Se non ci fossero variazioni nella performance umana, gli eventi sportivi sarebbero estremamente poco interessanti.



**Grafico 4.1.** Variazione nella performance fisica: distribuzione dei tempi finali ottenuti dagli atleti che hanno completato la Maratona Internazionale di Vancouver del 1999 (Grafico Rupert, 2002 modificato).

<sup>21</sup> si definisce selezione positiva una pressione di selezione che favorisce la variazione introdotta. La sua frequenza nella popolazione tenderà dunque ad aumentare.

<sup>22</sup> si definisce selezione negativa una pressione di selezione che sfavorisce il carattere studiato. La sua frequenza nella popolazione tenderà dunque a diminuire.

Durante una competizione di atletica, ad esempio, il traguardo finale sarebbe tagliato dai corridori nello stesso ordine di arrivo e con gli stessi intervalli di tempo. Ovviamente, questo non è il caso della realtà. Lo studio di Rupert (*Rupert, 2002*) riporta, come si evince dal Grafico 4.1, la distribuzione d'arrivo degli atleti partecipanti alla Maratona di Vancouver del 1999. Il tempo finale dei corridori aveva un range di variabilità compreso tra 2h e 21 min (per un ritmo di 3' e 21"/km) e 5h (per un ritmo di 6' e 50"/Km).

La variabilità nella distribuzione dei tempi d'arrivo, che si approssima ad una curva normale, è causata da una serie di fattori, sia estrinseci ed intrinseci, che riguardano le prestazioni dei singoli corridori. In generale la variazione fenotipica di molti caratteri è il risultato di una combinazione di effetti ambientali e di fattori genetici, ma molto spesso il contributo e il peso di ognuno di essi sono poco noti.

Il fattore estrinseco più pertinente è senza dubbio l'allenamento, che include la volontà di migliorare la performance, la capacità di adattamento all'allenamento, le opportunità di potersi allenare efficacemente e interessa un gran numero di caratteristiche fisiologiche, psicologiche e sociali. I fattori intrinseci includono l'età dei singoli corridori e le caratteristiche genetiche degli individui. La più evidente fenotipizzazione di quest'ultima caratteristica è data dalle differenze di genere. In media infatti, le donne risultano essere più lente rispetto agli uomini, anche se è poco noto quanto di tale differenza sia attribuibile a fattori anatomici e fisiologici e quanto sia invece imputabile a fattori di tipo culturale e sociale. (*Chatterjee e Laudato, 1995*). Oltre al sesso, la genetica ha effetti sostanziali sulle dimensioni corporee (*Bouchard e al., 1990*) e sulla morfologia (*Bouchard, 1997*), che a loro volta influenzano le prestazioni di alto livello.

Comunque, il relativo contributo dei fattori genetici e ambientali al raggiungimento di risultati eccellenti è ancora poco noto, ma osservazioni empiriche, come la prevalenza di atleti della stessa etnia tra i primi posti delle classifiche mondiali in una disciplina sportiva, suggerisce il ruolo determinante della componente ereditaria.

Le competizioni di Endurance possono essere utili come esempio. Dei 14 atleti kenioti che hanno completato la maratona di Boston del 2002, 13 (93%) finirono la gara tra i primi 25 classificati; viceversa su 1122 atleti canadesi partecipanti alla stessa competizione, solo uno (0,9%) completò la gara classificandosi tra i primi 25.

“L'ipotesi generale è che vi sia una componente ereditaria nella fitness fisica e atletica in grado di interagire con i fattori ambientali, ad esempio, con l'allenamento.

Per comprendere gli aspetti biologici della performance è pertanto fondamentale approfondirne i risvolti genetici. A tale scopo negli ultimi anni la ricerca si è avviata verso

l'analisi dei legami esistenti tra fisiologia, biochimica e genetica nel campo dell'esercizio fisico indagando sull'ereditarietà di vari tratti della performance, sulle basi genetiche e molecolari dell'adattamento all'esercizio e dei differenti indicatori della performance sportiva. L'esercizio fisico può influenzare direttamente sia lo stato di salute sia la possibilità di performance. Gli effetti dell'esercizio variano da individuo ad individuo in base alle diverse caratteristiche genetiche. Si pensi ad una conseguenza estrema quale la morte improvvisa che può essere provocata dall'esercizio intenso in quegli individui portatori di difetti genetici che causano la cardiomiopatia ipertrofica o alcune anomalie dell'arteria coronaria.

L'esercizio ha inoltre effetti indiretti in quanto può alterare l'espressione o l'azione di uno o più geni, influenzando un fenotipo che risulta essere importante per la Performance sportiva e per lo stato di salute, come ad esempio il  $VO_{2max}$  o il livello di colesterolo. Numerose differenti strategie sono state utilizzate per chiarire i rapporti tra i geni e l'esercizio fisico. Lo studio delle basi genetiche dei tratti complessi, come quelli legati alla performance, può essere realizzato con l'analisi delle somiglianze familiari, quantificando attraverso opportune tecniche statistiche la frazione di varianza di un fenotipo attribuibile rispettivamente ai fattori genetici e a quelli non genetici. Un altro possibile approccio al problema è quello molecolare che si serve dell'analisi delle variazioni a livello delle sequenze del DNA per identificare i geni responsabili degli effetti fenotipici.

Gli atleti che presentano un fenotipo in grado di portarli a risultati eccellenti posseggono una combinazione di vari genotipi favorevoli che determinano un vantaggio genetico. Un singolo genotipo non può da solo essere responsabile del fenotipo favorevole, anche se può ridurre o aumentare la capacità di performance (*Dionne et al., 1991*) e non tutti i genotipi favorevoli coesistono nello stesso atleta". (*Vona et al., 2005*)

#### **4.3. CENNI STORICI SULLE DIFFERENZE GENETICHE IN ATLETI D'ELITE**

La prima documentazione attestante differenze genetiche correlate alla "performance d'elite" risale al 1960. Un gruppo di genetisti, approfittando dei Giochi Olimpici del Mexico nel 1968 indagò sui comuni marcatori genetici sanguigni per verificare se vi fossero differenze nell'allele o nella frequenza genotipica tra atleti Olimpici e gruppi di controllo (*De Garay et al., 1974*). Lo sforzo per documentare differenze genetiche in atleti d'eccellenza, rispetto a gruppi di controllo composti da soggetti sedentari, proseguì sino a dieci anni più tardi, in occasione dei Giochi Olimpici di Montreal nel 1976 (*Chagnon et*

*al., 1984; Couture et al., 1986*) . Questi primi tentativi, si basarono tutti sullo studio del polimorfismo negli antigeni e negli enzimi dei globuli rossi.

Le indagini proseguirono con gli studi sui caratteri quantitativi mediante il metodo dei gemelli e dell'analisi familiare. Il Massimo Consumo di Ossigeno ( $VO_{2max}$ ) fu uno degli aspetti della performance aerobica più considerati da questo tipo di ricerca (*Vona et al., 2005*).

Dal confronto dei dati ottenuti tra gemelli monozigoti (MZ) e quelli dizigoti (DZ), si è potuto evidenziare il contributo della componente genetica alla determinazione del massimo consumo di  $O_2$ . (*Bouchard et al., 1986*).

Più tardi, iniziarono ad essere studiate le varianti prodotte dal gene per il muscolo scheletrico, vennero così selezionati alcuni marcatori che permisero di analizzare le funzioni del gene sulla produzione delle proteine caratterizzanti le diverse varietà del muscolo scheletrico (*Bouchard et al., 1988*). I dati ottenuti vennero poi posti in relazione con indicatori di endurance cardio-respiratoria.

Ma è soltanto nel 1990 che le differenze genetiche, potenzialmente in grado di influenzare la performance sportiva di alto livello, vennero studiate a livello della molecola del DNA attraverso le nuove tecniche della biologia molecolare.

Si può intuire, da quanto sin d'ora esposto, come il progresso nel campo della Genetica applicata alla performance sportiva sia stato piuttosto lento, così come non sono stati particolarmente rilevanti i risultati ottenuti in tale campo. Ciò è probabilmente da attribuire alla inadeguatezza delle esperienze dei biologi, e di coloro che operano nel campo dell'esercizio, all'utilizzo delle nuove tecnologie genomiche, ma soprattutto alla mancanza di entusiasmo prodotta da risultati genetici insoddisfacenti.

Oggi, tutto ciò è sul punto di cambiare. Infatti le grandi “aziende scientifiche”, hanno già cominciato ad indurre i biologi intenzionati a rimanere o diventare competitivi nel campo della Scienza, ad incorporare, all'interno del loro lavoro di ricerca, la genomica e le altre tecnologie molecolari, e ciò soprattutto alla luce delle nuove scoperte di sequenziazione del Genoma Umano e degli altrettanti risultati ottenuti con gli studi compiuti sul ratto e sul topo.

In relazione a quanto sin d'ora menzionato, si può pertanto predire con fiducia che, l'identificazione dei geni e delle rispettive sequenze polimorfiche implicate nelle variabilità della prestazione umana d'élite, attrarranno l'attenzione di un gran numero di ricercatori.



Un passo importante in questa direzione è stato infatti già compiuto nel Marzo del 2000, quando un gruppo di scienziati provenienti da 5 laboratori intorno al mondo riuscì ad elaborare, quindi pubblicare sulla rivista “*Medicine & Science in Sports & Exercise*”, la Prima Mappa Genetica Umana per la Performance Sportiva della storia dell’uomo (Rankinen et al., 2001).

Lo scopo del lavoro, intitolato “The Humane Gene Map for Performance and Health-Related Fitness Phenotypes”, è descrivere la prima mappa genetica umana correlata alla performance, per mezzo anche dell’ausilio di una revisione sistematica dei dati estrapolati dalle maggiori pubblicazioni scientifiche in tema.

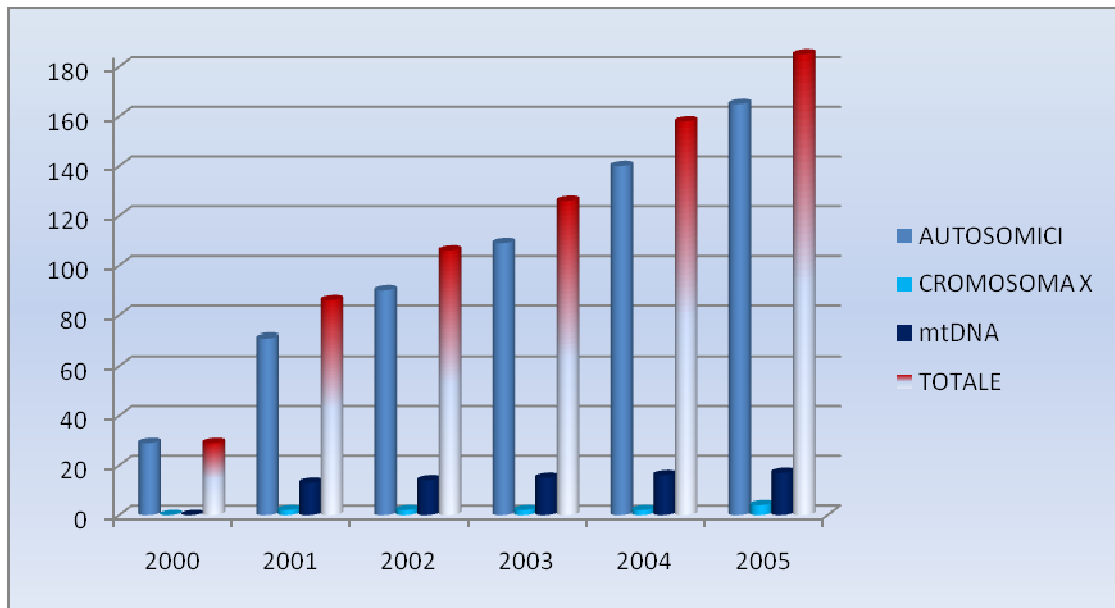
Alla data della prima pubblicazione, apparve subito chiara l’intenzione degli autori di proseguire nello studio mediante aggiornamenti periodici della mappa.

Infatti, dalla nascita della prima pubblicazione ad oggi, sono già 6 gli *Update* pubblicati dagli autori (Rankinen et al., 2002, 2003, 2004, 2006; Wolfarth et al., 2005). Anno dopo anno le revisioni e gli aggiornamenti di tale lavoro hanno fatto sì che venissero inseriti all’interno della mappa *diversi Loci* genetici e i *Marcatori* potenzialmente candidati ad influenzare la prestazione fisica dell’uomo.

L’attuale revisione dello studio all’anno 2005 (Rankinen et al., 2006) presenta alcuni aggiornamenti basati su una revisione di tutti gli studi pubblicati sull’argomento fino alla fine dell’anno 2005. Nuovi marcatori genetici associati alla performance sportiva hanno indotto cambiamenti alla mappa genetica umana precedente (Wolfarth et al., 2005). Nella nuova pubblicazione sono stati presi in considerazione anche gli studi che hanno prodotto associazioni negative di marcatori genetici con la performance, anche se è bene sottolineare che un gene, per essere contemplato dalla mappa, deve presentare almeno uno studio positivo di associazione con la performance.

Alla fine dell’anno 2000, nella prima versione della mappa genetica (Rankinen et al., 2001), 29 sono stati i loci genetici presi in considerazione. Il numero di geni potenzialmente correlati con la prestazione fisica sta aumentando ogni anno (Grafico 4.2), attualmente la mappa del genoma umano aggiornata al 2005 comprende 165 geni autosomici, e 5 geni localizzati sul cromosoma X. Inoltre sono stati identificati 17 geni mitocondriali le cui varianti sembrano influenzare in modo rilevante la performance sportiva (Rankinen et al., 2006). Così, la mappa sta crescendo in complessità.





**Grafico 4.2** Numero di Geni associati alla performance sportiva d'élite dal 2000 al 2005.

#### 4.4 I GENI ASSOCIATI ALLA PERFORMANCE SPORTIVA D'ELITE

Dall'esame della letteratura inerente gli aspetti genetici legati alla performance sportiva si evince che, nel corso degli ultimi decenni, sono state adottate diverse strategie per identificare i geni responsabili dei tratti complessi che caratterizzano la prestazione di alto livello. Gli studi più comunemente utilizzati sono quelli basati sull'associazione che una variazione di un determinato locus genetico può avere nei confronti di alcuni aspetti della performance sportiva. Indagare sugli effetti che le variazioni genetiche individuali possono indurre sulla prestazione sportiva non è affatto semplice, anche quando il tratto della performance che s'intende analizzare può essere ridotto ad una caratteristica quantificabile e misurabile, come per esempio il VO<sub>2</sub>max. Tuttavia, numerosi sono i documenti pubblicati, nel corso degli ultimi due decenni, che testimoniano come variazioni di un singolo gene possano influenzare la prestazione sportiva (*per una completa revisione vedasi Rankinen et al., 2001*). Molti di questi lavori presentano dati relativi a studi di associazione tra frequenze alleliche e loci polimorfici in gruppi di individui selezionati sulla base di specifiche caratteristiche (come ad esempio un elevato VO<sub>2</sub>max, o una superiore efficienza fisica) e gruppi di controllo. Se un allele contribuisce alla caratteristica individuata, esso sarà prevalente nel campione in cui quella stessa caratteristica è più comune. Tuttavia occorre evidenziare che, un'associazione positiva tra un allele ed un tratto specifico della performance sportiva non implica un nesso di causalità nel rapporto

considerato. Per questa ragione un gene considerato singolarmente, non potrà essere responsabile di cambiamenti sostanziali nella performance sportiva. Piuttosto, appare più utile evidenziare che numerosi sono invece i geni coinvolti nei processi di sviluppo, mantenimento e regolazione dei sistemi muscolo-scheletrico, cardio-circolatorio, respiratorio e metabolico e nella risposta di questi apparati a stimoli allenanti.

Tuttavia, per poter risalire all'individuazione di una mappa genetica esaustiva, che includa tutti i geni potenzialmente candidati ad influenzare la performance sportiva, occorre partire proprio dall'esame di un singolo gene e verificarne l'associazione con un particolare tratto della prestazione sportiva (determinante per la tipologia di performance che si intende indagare). Poiché comunque non esiste una relazione diretta tra gene e carattere della prestazione, ma piuttosto più geni chiamati in causa per definire una prestazione, anche la più semplice che si possa immaginare, si è cominciato a considerare le distribuzioni alleliche per atleti raggrupabili in base alle esigenze più specifiche per ogni specialità. Perciò, diversi studi hanno inizialmente analizzato l'influenza di alcuni polimorfismi genetici su determinate caratteristiche fenotipiche in larghi campioni di soggetti non-atleti e successivamente hanno indagato circa l'esistenza di tali associazioni anche sugli atleti d'élite. In principio, gli studi sono stati condotti sulla prestazione degli atleti d'élite provenienti dalle più svariate discipline sportive, con risultati molto spesso negativi.

Successivamente gli autori hanno iniziato a suddividere gli atleti d'élite sulla base della differente tipologia di prestazione: performances con caratteristiche di velocità, rapidità ed elevate intensità di carico (discipline anaerobiche di sprint e potenza) e performances che invece si caratterizzano per la reiterazione del gesto tecnico, ad intensità non massimali, per periodi di lunga durata (discipline aerobiche di endurance).

Sono invece pochi gli studi che si sono focalizzati selettivamente sulle associazioni tra polimorfismi genetici e performance di gruppi di atleti d'élite individuati sulla base della singola disciplina sportiva praticata. A tal riguardo, alcuni autori suggeriscono che gli studi di associazione effettuati per testare se un marcatore genetico si verifica più frequentemente in atleti élite rispetto al controllo, richiedono campioni di soggetti omogenei praticanti la stessa disciplina sportiva (*Woods et al., 2001*).

La tabella 4.1 schematizza i marcatori genetici più indagati nello sport d'eccellenza nel corso degli ultimi anni (1997-2005), con le relative frequenze di distribuzione alleliche e genotipiche riportate dagli studi più autorevoli.

**Tabella 4.1** Numero di Geni associati alla performance sportiva d'elite dal 2000 al 2005.

GENE	ATLETI				CONTROLLO			P	Referenze
	Posizione	N	Sport	Frequenza	N	Frequenza			
<b>ADRA2A 10q25</b>	140	<b>Endurance</b>	6.7/6.7	0.77	141	6.7/6.7	0.62	0.037	Wolfarth et al., 2000
			6.7/6.3	0.21		6.7/6.3	0.34		
			6.3/6.3	0.02		6.3/6.3	0.04		
			6.7	0.88		6.7	0.8		
			6.3	0.12		6.3	0.2		
<b>ACE 17q23</b>	63	<b>Endurance</b>	II	0.30	118	II	0.18	0.03	Gaygay et al., 1998
			ID	0.55		ID	0.51		
			DD	0.16		DD	0.32		
			I	0.57		I	0.43		
			D	0.43		D	0.57		
	79	<b>Corridori</b>	I	0.57	Ref.pop.	I	0.57	0.039	Myerson et al., 1999
			D	0.43		D	0.43		
	120	<b>Olimpionici</b>	II	0.22	685	II	0.22	NS	Taylor et al., 1999
			ID	0.47		ID	0.49		
			DD	0.30		DD	0.29		
			I	0.46		I	0.47		
			D	0.54		D	0.53		
	192	<b>Endurance</b>	II	0.26	189	II	0.20	NS	Wolfarth et al., 2000
			ID	0.46		ID	0.48		
			DD	0.27		DD	0.33		
			I	0.49		I	0.43		
			D	0.50		D	0.56		
	404	<b>Olimpionici (19 Discipline)</b>	I	0.50	Ref.pop.	I	0.49	NS	Myerson et al., 1999
			D	0.50		D	0.51		
	60	<b>Atleti d'Elite (Ciclismo, Corsa, Pallamano)</b>	II	0.25	Ref.pop.	II	0.16	0.0009	Alvarez et al., 2000
			ID	0.58		ID	0.45		
			DD	0.17		DD	0.39		
			I	0.54		I	0.38		
			D	0.46		D	0.62		

**Continuo Tabella 4.1** Numero di Geni associati alla performance sportiva d'élite dal 2000 al 2005.

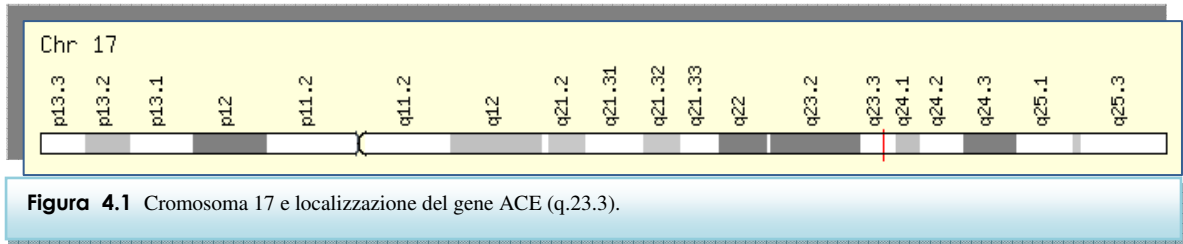
GENE	ATLETI						CONTROLLO		P	Referenze
Posizione	N	Sport	Frequenza		N	Frequenza				
ACE 17q23	56	Nuotatori d'elite	II	0.15	1248	II	0.24	0.004	Woods et al., 2001	
			ID	0.39		ID	0.49			
			DD	0.46		DD	0.27			
			I	0.34		I	0.48			
			D	0.66		D	0.52			
	3035	Atleti di corta e media distanza	II	0.07	449	II	0.23	0.001	Nazarov et al., 2001	
			ID	0.43		ID	0.52			
			DD	0.50		DD	0.24	0.032		
			I	0.28		I	0.50			
			D	0.72		D	0.50			
	33	Atleti Olimpici discipline Aereobiche	II	0.30	152	II	0.13	0.05	Scanavini et al., 2002	
			ID	0.30		ID	0.43			
			DD	0.39		DD	0.44			
			I	0.45		I	0.34			
			D	0.55		D	0.66			
	100	Triathlon	I	0.52	166	I	0.42	0.036	Collins et al., 2004	
			D	0.48		D	0.58			
	100	Ciclisti	I	0.35	119	I	0.42	< 0.001	Lucia et al., 2005	
			D	0.65		D	0.58			
ACTN-3 11q13q14	107	Sprinters	RR	0.49	436	RR	0.30	< 0.001	Yang et al., 2003	
			RX	0.45		RX	0.52			
			XX	0.06		XX	0.18			
			R	0.72		R	0.56			
			X	0.28		X	0.44			

Nei paragrafi 4.4.1 e 4.4.2 sono approfondite identità e funzionalità dei marcatori oggetto di studio della presente trattazione.

#### 4.3.1 Il Gene ACE

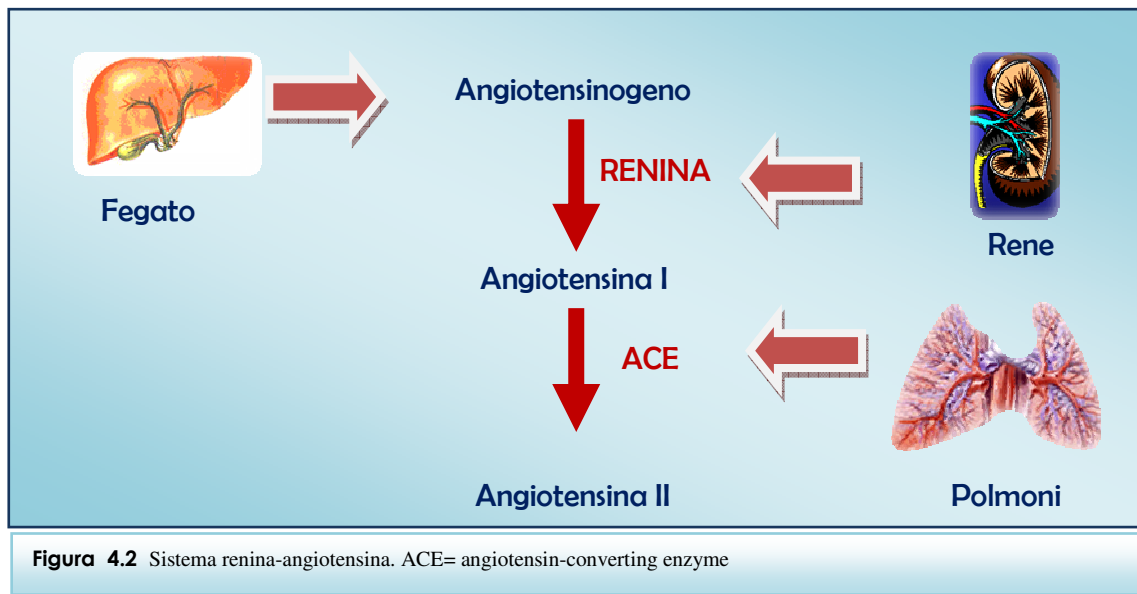
Il polimorfismo di inserzione Alu ACE è localizzato nell'introne 16 del gene codificante per la produzione dell'enzima convertitore dell'angiotensina. L'ACE, anche conosciuto

come dipeptidil carbossipeptidasi 1, è codificato da un singolo gene (DCP1) localizzato sul braccio lungo del cromosoma 17 (17q23.3) (Fig.4.1).



L'ACE ha un ruolo molto importante nella regolazione della pressione arteriosa attraverso il sistema renina-angiotensina e inattiva il vasodilatatore bradichina. Esso converte l'angiotensina I, un debole vasocostrittore stabile, in angiotensina II (Fig.4.2), il più potente vasocostrittore dell'organismo umano.

L'angiotensina II, oltre ad essere uno stimolatore del rilascio di aldosterone, è implicato anche nella crescita dei tessuti e nell'ipertrofia cardiaca.



Sono stati identificati numerosi loci polimorfici all'interno del gene ACE (Zhu *et al.*, 2001). Quello più studiato è l'inserzione Alu nell'introne 16. La presenza di un frammento di 287 bp (inserzione o allele +) è associato con minori livelli di ACE nel siero (Rigat *et al.*, 1990) e nei tessuti (Dancer *et al.*, 1995). I due alleli inserzione/delezione (I/D) dell'ACE danno origine a tre genotipi: gli omozigoti D/D e I/I e gli eterozigoti I/D. La distribuzione allelica per questo locus è stata associata a patologie cardio-vascolari, a disfunzione erettile (Park *et al.*, 1999), a performance atletiche (Gayagay *et al.*, 1998), e

alla predisposizione per il morbo di Alzheimer (*Kehoe et al., 1999*). Non tutti gli studi hanno riscontrato un'associazione tra patologie e/o performance sportiva e alleli I/D dell'ACE (*Rankinen et al., 2000*) e ci sono ancora molte discussioni sul reale impatto fisiologico degli alleli per questo locus. Le frequenze alleliche del gene ACE variano tra le popolazioni (*Staessen et al., 1997*) ma, in generale, entrambi gli alleli sono comuni (*Rupert et al., 1999*).

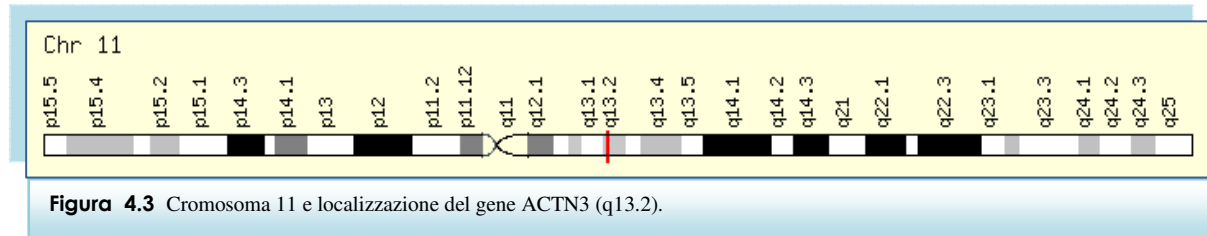
Recenti studi hanno mostrato un'associazione significativa, tra l'allele I del gene ACE e le performances di endurance, dovuta ad una elevata frequenza dell'allele I riscontrato nei corridori d'élite su lunghe distanze (*Myerson et al., 1999*), vogatori (*Gaygay et al., 1998*) ed alpinisti (*Montgomery et al., 1998*). Viceversa, altri studi non hanno riscontrato alcuna associazione (*Karjalainen et al., 1999; Rankinen et al., 2000; Taylor et al., 1999*). Il comune denominatore degli studi che non hanno trovato associazioni positive è l'inclusione, nel campione, di atleti provenienti da diverse discipline sportive, producendo un fattore che può aver determinato un'eterogeneità fenotipica. (*Woods et al., 2001*). Infatti, il criterio per la selezione del campione non deve essere solo quello basato sul livello agonistico raggiunto dagli atleti (nazionale, internazionale, mondiale, olimpico) ma deve considerare soprattutto la tipologia e le caratteristiche della disciplina da essi praticata. Myerson e collaboratori (1999) nel loro studio non rilevarono differenze nella distribuzione della frequenza allelica tra corridori e popolazione generale. Tuttavia, quando gli autori suddivisero i corridori sulla base della distanza, trovarono una differenza significativa per l'allele I che si presentava più comunemente nei corridori su lunghe distanze (5000 m in su) e in meno frequentemente nei corridori su corte distanze (400m in giù). Il primo studio focalizzato su una singola disciplina sportiva è stato quello condotto da Woods et al., (*Woods et al., 2001*) su 103 nuotatori d'élite di breve distanza (57 maschi e 46 femmine). Gli autori riscontrarono un eccesso significativo dell'allele D nei nuotatori rispetto al gruppo di controllo.

In generale, i risultati riscontrabili in letteratura evidenziano un vantaggio, sul piano dell'endurance cardio-respiratoria, per gli atleti d'élite portatori dell'allele I (*Vona et al., 2005*). Questi atleti, dotati del genotipo II, sembrerebbero possedere una maggiore elasticità aortica rispetto agli atleti con genotipi I/D e D/D (*Tanriverdi et al., 2005*). Infine, il polimorfismo del gene ACE sembrerebbe avere ripercussioni anche sulla funzionalità dei muscoli scheletrici. Infatti l'allele D, associato a maggiori livelli plasmatici dell'enzima

che converte l'angiotensina, potrebbe favorire le performance di sprint e potenza come conseguenza dell'effetto ipertrofico indotto dall'angiotensina II (Zhang *et al.*, 2003).

#### 4.4.2 Il Gene ACTN-3

Il gene ACTN-3 è localizzato sul braccio lungo del cromosoma 11 (11q13.2) (Fig.4.3).



**Figura 4.3** Cromosoma 11 e localizzazione del gene ACTN3 (q13.2).

Esso è un polimorfismo nella lunghezza del DNA che si presenta con due varianti alleliche (R ed X) che, a loro volta, danno origine a 3 differenti genotipi di cui l'omozigote per l'allele R (R577R), l'omozigote per l'allele X (577XX) e l'eterozigote "R577X".

L'ACTN-3 codifica per una proteina presente esclusivamente nelle fibre di tipo 2 (veloci) del muscolo scheletrico (North and Beggs, 1996), l' $\alpha$ -actinina-3, conosciuta anche come isoforma 3 dell' $\alpha$  actinina muscolare scheletrica. Le  $\alpha$  actinine fanno parte di un'ampia famiglia di proteine che costituiscono il citoscheletro della fibra muscolare. Le  $\alpha$  actinine interagiscono direttamente o indirettamente con le proteine della stessa famiglia (l'*actina citoscheletrica*, la *vinculina*, la *talina*, le *integrine*, la *paxillina* etc.) ed hanno la funzione di mantenere la stabilità e l'integrità della membrana cellulare durante la contrazione muscolare, permettendo inoltre il trasferimento della forza dalla *struttura sarcomerica* (dall'interno della cellula) alla matrice extra-cellulare (all'esterno della cellula). Nella specie umana ci sono due geni che codificano per le alfa actinine muscolo scheletriche: l'ACTN-2, che è espresso in tutte le fibre, e l'ACTN-3 che è presente nelle sole fibre a contrazione rapida (tipo II).

L' $\alpha$ -actinina-3 è una componente importante della linea Z e gioca un ruolo decisivo nel legame con i filamenti sottili dell'actina. Probabilmente questa proteina ha sia una funzione statica nell'effettuare l'allineamento miofibrillare, sia una funzione regolatrice nella contrazione muscolare (Blanchard *et al.*, 1989; Mills *et al.*, 2001). Si pensa che la sua funzione fondamentale sia comunque quella di ancorare l'actina ad una varietà di strutture intracellulari ( $\gamma$ -filamin) presenti nel disco Z della fibra muscolare.

Recentemente gli studi sull'ACTN-3 hanno dimostrato che la mancanza  $\alpha$ -actinina-3 è dovuta all'omozigosità per un codone prematuro di stop (577XX) nel polimorfismo

(R577X) dell'ACTN-3 (North *et al.*, 1999) e, malgrado la conservazione evolutiva dell' $\alpha$ -actinina-3, circa uno su cinque Europei è completamente carente di questa proteina.

Si è ipotizzato che nelle fibre di tipo 2 ci possa essere una funzione di compensazione di questa mancanza da parte del gene ACTN-2 anche se non sono state riscontrate condizioni di up-regulation nei livelli di questo gene.

Tuttavia esistono prove fondate per ritenere che l'ACTN-3 sia conservato nel genoma a causa dell'indipendenza delle funzioni rispetto all'ACTN-2, come d'altronde appare se si confrontano le espressioni di questo gene nelle diverse popolazioni.

La frequenza dei genotipi deficienti per l' $\alpha$ -actinina-3 (577XX) varia dal 25% nelle popolazioni asiatiche a meno dell'1% in una popolazione Bantù africana mentre la frequenza negli Europei è del 18% (Yang *et al.*, 2003). Ciò individua la possibilità che il genotipo ACTN-3 possa conferire capacità differenziali agli esseri umani, in determinate condizioni ambientali. La capacità delle fibre di tipo 2 del muscolo di generare forti contrazioni ad alte velocità, la stessa velocità ed il tempo dei movimenti nonché la capacità dell'individuo di adattarsi all'allenamento sono tutte caratteristiche fortemente influenzate dalla genetica (Rankinen *et al.*, 2002).

L'ACTN-3 viene attualmente definito "*The gene of speed*" (MacArthur and North, 2004) a causa dell'elevata frequenza di una sua variante polimorfica (allele 577R) negli atleti d'élite praticanti discipline di sprint e potenza rispetto a quelli praticanti attività di endurance. Lo studio di Yang (Yang *et al.* 2003), ha dimostrato associazioni altamente significative fra il genotipo ACTN-3 e le prestazioni atletiche di alto livello agonistico. Sia gli atleti di sesso maschile che femminile, praticanti attività di sprint e potenza a livello d'élite, hanno frequenze significativamente più elevate dell'allele 577R rispetto agli atleti d'élite praticanti discipline di endurance e rispetto alla popolazione normale.

Ciò suggerisce che la presenza di  $\alpha$ -actinina-3 ha un effetto benefico sulla funzione del muscolo scheletrico nella generazione delle forti contrazioni ad alta velocità.

Anche lo studio di MacArthur e North (MacArthur and North, 2004) ha evidenziato associazioni tra il polimorfismo del gene ACTN-3 e la performance degli atleti d'élite. Gli autori, hanno infatti riscontrato una frequenza significativamente più bassa del genotipo 577XX in corridori di sprint rispetto al gruppo di controllo. Viceversa, gli atleti di endurance esaminati nello stesso studio, ed in particolare le donne, mostrarono una frequenza elevata del genotipo 577XX. I portatori omozigoti per l'allele 577X risultano totalmente privi della proteina  $\alpha$ -actinina 3, che invece è determinata dall'allele 577R. Ciò



induce alla considerazione che i genotipi 577RR e R577X siano più vantaggiosi per le performance caratterizzate da forti contrazioni muscolari che si esprimono ad elevate velocità , rispetto al genotipo 577XX.



***Premessa***

Lo scopo di questa tesi è incentrato sulla valutazione delle caratteristiche che possono favorire il raggiungimento di elevati livelli di prestazione nella ginnastica artistica, in particolare in quella femminile.

Si sono pertanto rilevati i dati inerenti a tali caratteristiche su campioni di atlete di vario livello agonistico, e gli stessi sono stati analizzati secondo ottiche differenti espresse nei capitoli seguenti:

- nel **Capitolo 5** si considerano le caratteristiche fisiche e la composizione corporea nelle ginnaste italiane d'élite;
- nel **Capitolo 7** si esaminano le relazioni tra caratteristiche antropometriche e punteggio della performance nelle ginnaste italiane d'élite;
- nel **Capitolo 8** si analizzano l'accrescimento, la composizione corporea ed il somatotipo in ginnaste militanti in diversi livelli agonistici.

I ginnasti sono esaminati, sotto l'aspetto antropometrico, nel **Capitolo 6**.

Nei **Capitoli 9, 10 ed 11** si è tentato un approccio genetico al fine di analizzare anche sotto questo punto di vista il ginnasta d'élite e la sua prestazione sportiva. Per lo sviluppo di quest'ultimo aspetto, si sono scelti i due marcatori genetici (ACE e ACTN-3) più studiati nell'ambito delle prestazioni sportive anaerobiche di sprint e potenza, tra le quali la ginnastica artistica può essere ricondotta.

Ogni atleta ha fornito il proprio consenso per la partecipazione alla ricerca e lo studio è stato approvato dal Presidente della Federazione Ginnastica d'Italia. (F.G.I.) e dal Comitato Etico della F.G.I.



*Struttura Fisica e Composizione Corporea in Ginnaste Italiane d'élite*



## 5. STRUTTURA FISICA E COMPOSIZIONE CORPOREA IN GINNASTE ITALIANE D'ELITE

### 5.1 INTRODUZIONE

La comprensione e la descrizione delle caratteristiche della prestazione d'eccellenza nello sport, implica l'analisi e la conoscenza dei diversi fattori che concorrono ad influenzarla e delle loro relazioni.

Come già evidenziato nella sezione teorica della presente trattazione<sup>23</sup> e riportato da diversi autori (*Carter, 1981, Gualdi-Russo et al., 1993, Malina 2007*), le atlete d'élite praticanti differenti discipline sportive risultano caratterizzate sotto l'aspetto antropometrico, somatotipico e della composizione corporea.

Individuare gli aspetti antropometrici legati alla prestazione sportiva degli atleti d'élite significa conoscere i fattori che possono influenzare la prestazione stessa, identificare il talento nel corso dei primi anni di attività, ottimizzare i risultati riducendo al massimo il rischio individuale di sviluppare patologie, infortuni e abbandoni precoci. Questi aspetti acquistano un'importanza del tutto particolare per gli sport, come ad esempio la Ginnastica Artistica, nei quali le selezioni e gli allenamenti iniziano in età molto giovani, interferendo molto spesso con il processo di accrescimento. Tuttavia, i dati presenti in letteratura che riguardano le caratteristiche somatometriche delle atlete praticanti Ginnastica Artistica non sono molti. La maggior parte dei lavori si focalizza sull'analisi della statura e del peso delle ginnaste (*Samela, 1979; Rich et al., 1992; Weimann, 2000; Daly et al. 2000*), mentre i pochi dati importanti riguardanti la struttura fisica e morfologica delle ginnaste d'élite appaiono spesso poco attuali in relazione alle evidenziate variazioni diacroniche delle dimensioni della ginnastica artistica segnalate da Claessens (1999b) e legate a cambiamenti nelle regole del sistema di valutazione della performance ginnica.

Lo *scopo* di questo capitolo è stato quello di determinare la struttura fisica, la composizione corporea ed il somatotipo delle ginnaste italiane d'élite. I risultati ottenuti sono stati confrontati con i dati presenti in letteratura relativi alla popolazione femminile:

- a) non sportiva di pari età rispetto al campione esaminato,
- b) praticante differenti discipline sportive.

---

<sup>22</sup> Cfr. Paragrafo 3.1 La Struttura Fisica e la Performance di Successo.

## 5.2 MATERIALI E METODI

Il ***campione*** è composto da **42 ginnaste** d'élite appartenenti, nell'anno sportivo 2006/2007, alle Squadre Nazionali Italiane di Ginnastica Artistica Femminile (età media  $13.45 \pm 2.41$ ) e facenti parte delle categorie Allieve (n. 23 ginnaste) Juniores (n.10 ginnaste) e Seniores (n.9 ginnaste). Il campione esaminato rappresentava l'intera popolazione di riferimento in termini di categoria e livello agonistico.

Le ginnaste esaminate, appartenenti alle categorie Juniores e Seniores, avevano raggiunto livelli agonistici internazionali. La squadra Senior era formata dalle Campionesse d'Europa (Volos, Grecia 2006). Tra queste vi era la Campionessa del Mondo (Arhus, Danimarca 2006) e d'Europa (Amsterdam, Olanda 2007). Le atlete più giovani, appartenenti alla categoria Allieve, rappresentavano l'élite delle ginnaste italiane per la propria fascia d'età. I soggetti avevano praticato ginnastica artistica in media per 6.47 anni e il loro allenamento consisteva in  $28.23 \pm 6.88$  ore alla settimana.

E' stato attuato un protocollo di ***valutazione antropometrica*** consistente nella rilevazione di 21 dimensioni per ogni soggetto. Le misure rilevate sono state: statura totale, peso, statura da seduto, lunghezze dell'arto superiore, del braccio e dell'avambraccio, lunghezze dell'arto inferiore, della coscia e della gamba, larghezze biacromiale, bicestiliaca, biepicondiloidea omerale e biepicondiloidea femorale, circonferenze del polso, del braccio (contratto e rilassato), della coscia e del polpaccio e 5 pannicoli adiposi (bicipite, tricipite, sottoscapolare, soprailiaca, polpaccio mediale) la cui somma è stata impiegata come indicatore di grasso corporeo (*Bayos et al.,2006*).

L'Indice Schelico è stato calcolato con la seguente formula:  $(\text{Statura Totale} - \text{Statura da Seduto})/(\text{Statura da Seduto}) \times 100$ . L'indice acromio-iliaco è stato così ottenuto:  $(\text{Larghezza Bicestiliaca}/\text{Larghezza Biacromiale}) \times 100$ . Il rapporto tra la statura da seduto e la statura ( $\text{statura da seduto}/\text{statura} \times 100$ ) è stato utilizzato per stimare la lunghezza relativa del tronco.

Le misurazioni sono state effettuate in accordo con procedure indicate da Lohmann (*Lohmann,1992*). Le pliche cutanee sono state prese dagli stessi operatori utilizzando Lange Skinfold Caliper. E' stato utilizzato uno Stadiometro portatile (RAVEN Ltd.) per misurare la statura ed una bilancia per misurare il peso.



**Le componenti del somatotipo** (endomorfia, mesomorfia ed ectomorfia) sono state calcolate in accordo con le equazioni raccomandate da Heath & Carter (Carter, 1980; 1990).

La dispersione media del somatotipo (SDM), che fornisce la media della dispersione di tutti i somatopunti rispetto alla media del somatopunto del gruppo, è stata calcolata con la seguente formula (Ross and Wilson, 1973; Carter et al., 1983):

$$\text{SDM} = \sum \text{SDD}/n$$

ove, SDD (Distanza di Dispersione del Somatotipo) è la differenza tra due somatopunti nella somatocarta in due dimensioni, calcolata mediante la seguente formula (Ross and Wilson, 1973; Carter et al., 1983):

$$\text{SDD} = \sqrt{[3(\text{X}_1 - \text{X}_2)^2 + (\text{Y}_1 - \text{Y}_2)^2]}$$

Al fine di valutare le varie distanze esistenti tra i somatotipi sono stati calcolati i valori del Somatotype Attitudinal Means (SAM), che fornisce la dispersione media, in tre dimensioni, di tutti i somatotipi nel gruppo rispetto alla media del somatotipo del gruppo, calcolata secondo la formula (Ross and Wilson, 1973; Carter et al., 1983):

$$\text{SAM} = \sum \text{SAD}/n$$

dove SAD (Somatotype Attitudinal Distance) è la distanza in tre dimensioni tra due Somatopunti, calcolato in unità di componente secondo la seguente equazione (Ross and Wilson, 1973; Carter et al., 1983):

$$\text{SAD}_{A,B} = \sqrt{[(\text{I}_A - \text{I}_B)^2 + (\text{II}_A - \text{II}_B)^2 + (\text{III}_A - \text{III}_B)^2]}$$

dove I,II e III rappresentano rispettivamente le componenti endomorfa, mesomorfa ed ectomorfa del somatotipo, A è il somatotipo di ciascun soggetto, B è il somatotipo medio del gruppo (Carter, 2002).

Per ciò che concerne **la composizione corporea**, la percentuale di grasso corporeo (F%) è stata calcolata utilizzando la formula messa appunto da Slaughter (Slaughter et al., 1988) per le femmine di età compresa tra i 6 ed i 17 anni. Il peso, espresso in Kg, della massa grassa (FM Kg) è dato da:  $F(\text{Kg}) = \text{Peso}(\text{Kg}) \times F\%/100$ .

Il peso, espresso in Kg, della massa magra si è ricavato dalla sottrazione della massa grassa (kg) dal peso corporeo totale (Kg).

Per ciò che concerne la **maturazione sessuale**, l'età al menarca è stata calcolata con il metodo dello *status quo*.

**Analisi Statistica.** Metodi statistici di base sono stati utilizzati per il calcolo dei valori medi, minimo e massimo e delle deviazioni standard (SD).

L'analisi della varianza (one-way ANOVA) è stata utilizzata per esaminare le possibili differenze in tutte le variabili antropometriche, nella composizione corporea e nel somatotipo tra i vari gruppi di atlete (Allieve, Juniores e Seniores). A codesta analisi ha fatto seguito il post hoc test Fisher LSD (Least Significant Differences) al fine di identificare le differenze tra i gruppi per ciascuna variabile dipendente. Il livello di significatività è stato stabilito per valori di  $P \leq 0.05$ .

Tutte le analisi sono state condotte mediante l'utilizzo del software STATISTICA (Versione 7).

### 5.3 RISULTATI

Le caratteristiche generali del campione esaminato sono riportate in Tabella 5.1. Complessivamente, il range di variabilità dell'età delle ginnaste è compreso tra i 9.5 e i 22 anni, mentre la distribuzione delle ore di allenamento settimanali varia tra le 15 e le 42 ore. Le atlete considerate praticano l'attività da 4.84 anni in media, con un range di variabilità compreso tra 4 e 14 anni.

Ovviamente, le ginnaste Senior sono più grandi di età ed hanno più anni di esperienza delle altre atlete (Allieve e Junior). Il volume di allenamento, in termini di numero di ore di attività per settimana, risulta leggermente superiore nelle ginnaste Junior.

TABELLA 5.1 Caratteristiche Generali del Campione (media $\pm$ SD)			
	Allieve (n=23)	Juniores (n=10)	Seniores (n=9)
Età (anni)	11.76 $\pm$ 0.93*	14.01 $\pm$ 0.39*	17.05 $\pm$ 2*
Anni di pratica	4.84 $\pm$ 0.80*	7.01 $\pm$ 0.39*	9.94 $\pm$ 1.70*
Ore di allenamento settimanali	25.30 $\pm$ 5.98	32.10 $\pm$ 7.12	31.44 $\pm$ 5.68
*) Differenze Significative ( $P < 0.01$ )			

#### 5.3.1 L'effetto dell'età

Il profilo antropometrico delle ginnaste esaminate, suddiviso in relazione alla categoria di appartenenza (Allieve, Juniores e Seniores) è riportato in Tabella 5.2.

**TABELLA 5.2 Variabili Antropometriche, Composizione Corporea e Somatotipo delle Ginnaste Italiane appartenenti ai 3 livelli agonistici (media media  $\pm$  SD)**

	Allieve (n=23)	Juniore (n=10)	Seniores (n=9)	P	Post hoc Test LSD
Statura (cm)	139.79 $\pm$ 8.13	148.57 $\pm$ 6.36	153.82 $\pm$ 5.65	***	A vs S *** ; A vs J *
Peso (Kg)	33.25 $\pm$ 5.05	38.75 $\pm$ 5.88	46.83 $\pm$ 5.79	***	S vs A,J
Stat. da Seduto (cm)	72.99 $\pm$ 4.59	76.75 $\pm$ 3.82	80.56 $\pm$ 3.94	***	A vs S
L. Arto Superiore (cm)	60.99 $\pm$ 4.30	73.28 $\pm$ 10.22	79.9 $\pm$ 8.86	***	A vs J,S
L. Arto Inferiore (cm)	66.35 $\pm$ 4.10	70.54 $\pm$ 4.09	73.62 $\pm$ 3.28	***	A vs J * ; A vs S ***
L. Biacromiale	31.76 $\pm$ 2.10	33.06 $\pm$ 1.65	35.43 $\pm$ 1.88	***	S vs A *** ; S vs J *
L. Bicrestiliaca	21.90 $\pm$ 1.90	22.09 $\pm$ 1.25	24.65 $\pm$ 1.28	***	S vs A
Circonferenza Braccio Contratto	22.70 $\pm$ 1.45	24.31 $\pm$ 1.69	26.6 $\pm$ 1.32	***	S vs A,J *** ; A vs J *
Circonferenza Braccio Rilassato	20.51 $\pm$ 1.27	21.82 $\pm$ 1.69	24.55 $\pm$ 1.18	***	S vs A,J
Circonferenza Polpaccio	14.61 $\pm$ 0.93	30.31 $\pm$ 1.89	32.82 $\pm$ 1.89	***	S vs A,J *** ; A vs J **
Indice Schelico	91.60 $\pm$ 3.21	93.67 $\pm$ 4.42	91.04 $\pm$ 3.73	NS	NS
Rapp. Hsed/Stat (%)	52.20 $\pm$ 0.87	51.65 $\pm$ 1.17	52.36 $\pm$ 1.02	NS	NS
Somma 5 SKFS (mm)	27.54 $\pm$ 5.01	26.50 $\pm$ 5.25	33.05 $\pm$ 6.75	*	S vs A,J *
F%	11.96 $\pm$ 1.06	11.74 $\pm$ 1.30	12.26 $\pm$ 1.02	NS	NS
FFM (Kg)	29.25 $\pm$ 4.29	34.17 $\pm$ 5.07	41.05 $\pm$ 4.76	***	S vs A,J *** ; A vs J *
Endomorfia	1.78 $\pm$ 0.33	1.62 $\pm$ 0.42	1.96 $\pm$ 0.50	NS	NS
Mesomorfia	4.60 $\pm$ 0.70	4.22 $\pm$ 0.62	4.28 $\pm$ 0.80	NS	NS
Ectomorfia	3.29 $\pm$ 0.89	3.65 $\pm$ 0.74	2.66 $\pm$ 0.71	*	S vs J *
SAM	1.02 $\pm$ 0.58	0.99 $\pm$ 0.53	1.19 $\pm$ 0.50	NS	NS

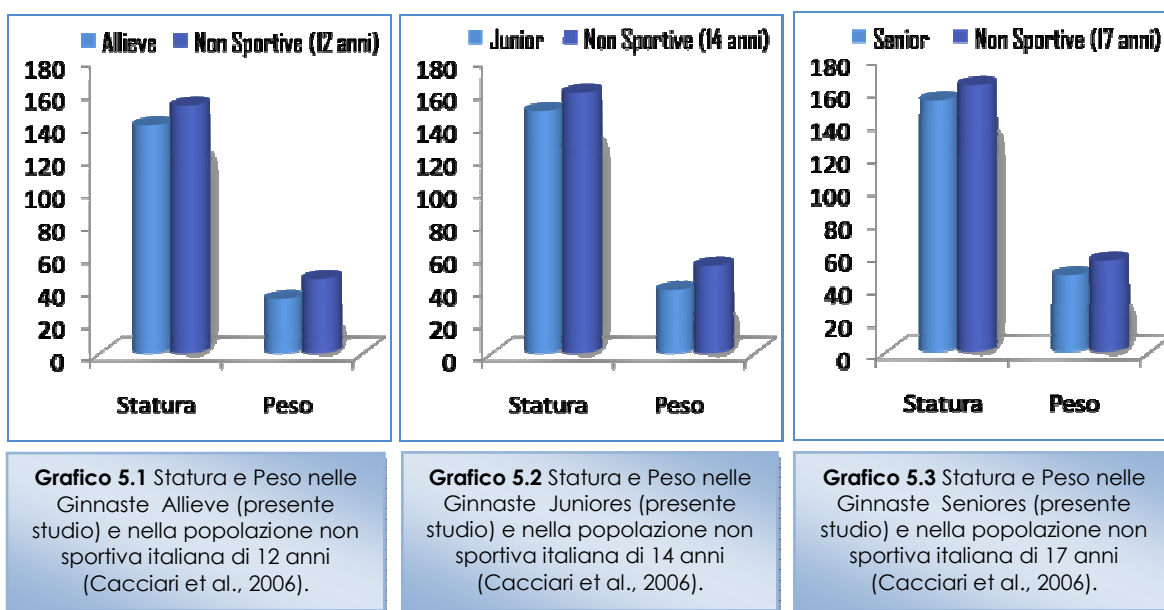
\*) P<0.05, \*\*) P<0.01, \*\*\*) P<0.001; nel test di Scheffe, A: Allieve, J: Juniores, C: Seniores

Un effetto significativo dell'età si è riscontrato per quasi tutte le variabili antropometriche (ad esclusione dell'indice schelico, della percentuale di massa grassa e delle componenti mesomorfica ed endomorfica del somatotipo). Le ginnaste Senior sono più alte ( $p<0.01$ ), più pesanti ( $p<0.001$ ) ed hanno arti più lunghi rispetto alle colleghe di livello agonistico inferiore ( $p<0.001$ ). Il gruppo Senior ha anche valori più elevati di somma delle pliche ( $p<0.05$ ) e delle larghezze bicrestiliaca e biacromiale ( $p<0.001$ ). Le Allieve sono più basse, pesano di meno ed hanno arti più corti rispetto alle colleghe di livello agonistico superiore ( $p<0.001$ ). Il gruppo Junior ha valori ectomorfici più elevati rispetto alle atlete Senior ( $p<0.05$ ) ma non differenti dai valori riscontrati per le ginnaste Allieve.

### 5.3.2 Confronto rispetto a non-sportive

Rapportando i dati ottenuti nel presente lavoro alle tabelle percentile per il **peso** e la **statura** in rapporto all'età (Cacciari *et al.*, 2006) emerge che, per quanto concerne la statura, le Allieve sono localizzate leggermente al di sotto del 10° percentile, le Juniores poco superiormente al 3° percentile e le Seniores tra il 3° e il 10° percentile. (Tabella 5.3). Considerando il peso in rapporto all'età, le ginnaste Juniores sono localizzate 3° percentile, le Allieve e le ginnaste Seniores al 10° percentile (Tabella 5.3).

I grafici 5.1, 5.2 e 5.3 schematizzano i dati relativi al peso ed alla statura nel campione di ginnaste esaminato e nella popolazione italiana non sportiva (Cacciari *et al.*, 2006).

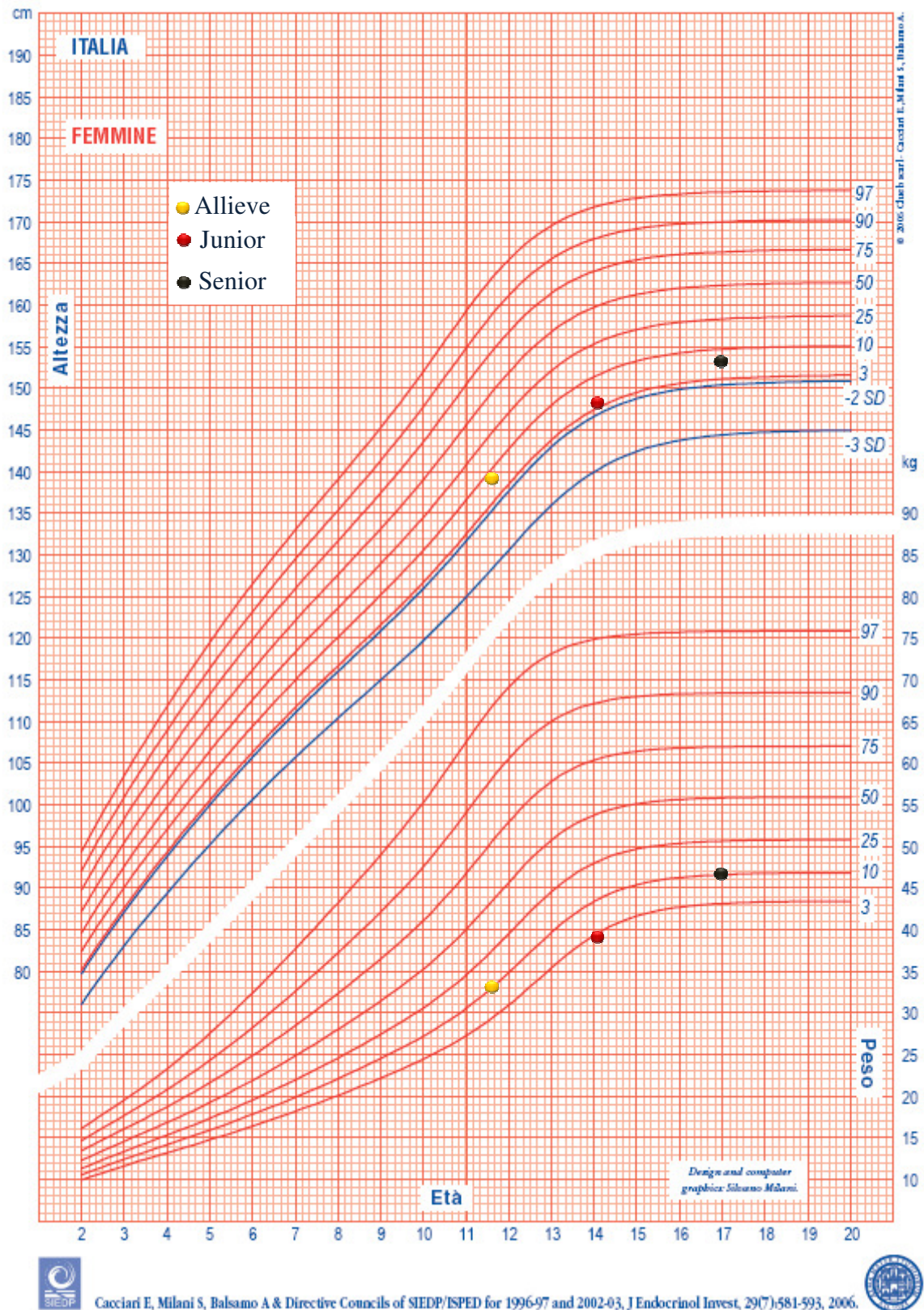


E' evidente come le ginnaste abbiano mediamente una statura inferiore rispetto alle coetanee non-sportive italiane e belghe (Simons *et al.*, 1990) (Ginnaste: cm 151.19 vs Belghe non-sportive: cm 163.02) e pesino di meno rispetto a queste ultime (Ginnaste: Kg 42.79 vs Belghe non-sportive: Kg 53.95).

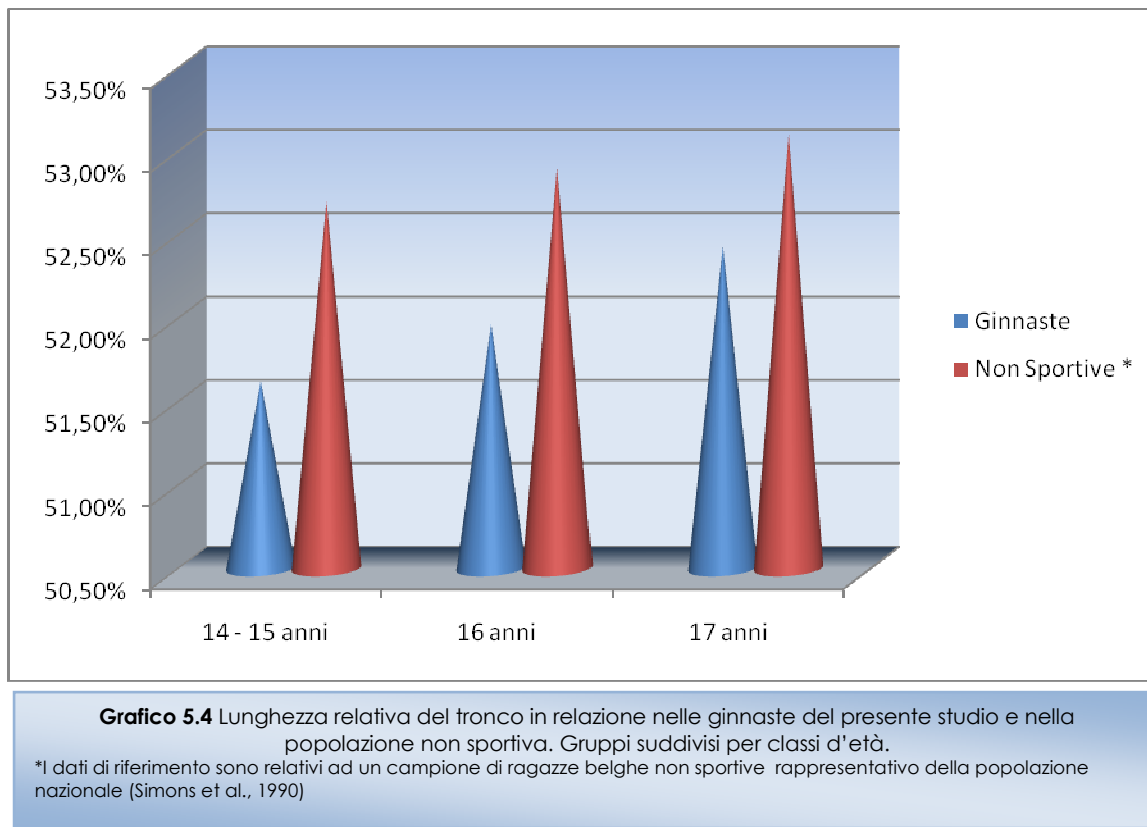
In generale, per ciò che concerne le **proporzioni corporee**, il gruppo di atlete considerato globalmente si caratterizza per avere un valore medio dell'indice schelico di  $93.30 \pm 4.42$  che le classifica come macroscheliche e da un valore dell'indice acromio-iliaco ( $69.33 \pm 3.51$ ) che le classifica a bacino stretto e spalle larghe. Questo è evidente anche considerando le atlete singolarmente.



TABELLA 5.3 Percentili Statura/Peso/Età ginnaste italiane Allieve (A), Juniores (J) Seniores (S)



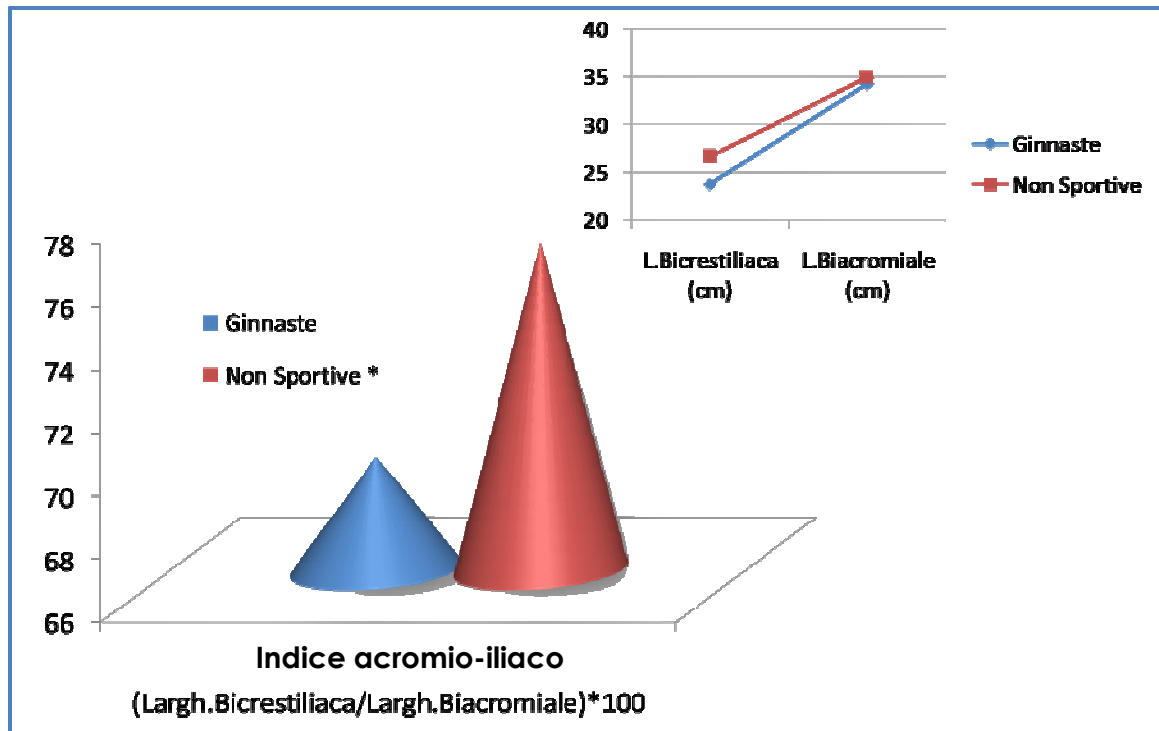
Le ginnaste Juniores e Seniores non mostrano differenze consistenti, rispetto alle ragazze non-sportive considerate come riferimento normativo (*Simons et al., 1990*), per ciò che concerne la lunghezza relativa del tronco (Grafico 5.4).



A parità di sviluppo della larghezza delle spalle (ginnaste cm 34.24 vs non-sportive cm 34.95), le ginnaste presentano valori inferiori per la larghezza bicrestiliaca (cm 23.37 vs cm 26.65). Infatti, se si prende in considerazione il valore relativo all'indice acromio-iliaco (Grafico 5.5) emergono differenze interessanti tra i due gruppi.

Mentre le ginnaste mostrano un più basso valore per questo indice, che denota un maggiore sviluppo della larghezza delle spalle in proporzione alla larghezza del bacino, le ragazze non-sportive evidenziano un valore acromio-iliaco più elevato che indica uno sviluppo molto simile delle spalle rispetto al bacino.

Per ciò che concerne la **composizione corporea**, le atlete esaminate presentano una bassa percentuale di massa grassa ( $11.96\% \pm 1.06$ ) e un'alta percentuale di massa magra ( $88.02 \pm 1.10$ ). I valori di massa grassa risultano mediamente inferiori rispetto agli standard (12-16%) suggeriti da Lohman (*Lohman, 1992*) per la maggior parte delle atlete.



**Grafico 5.5** Indice acromio-iliaco, Larghezza Biacromiale (cm) e Bicrestiliaca (cm) nelle ginnaste del presente studio rispetto alla popolazione non sportiva.

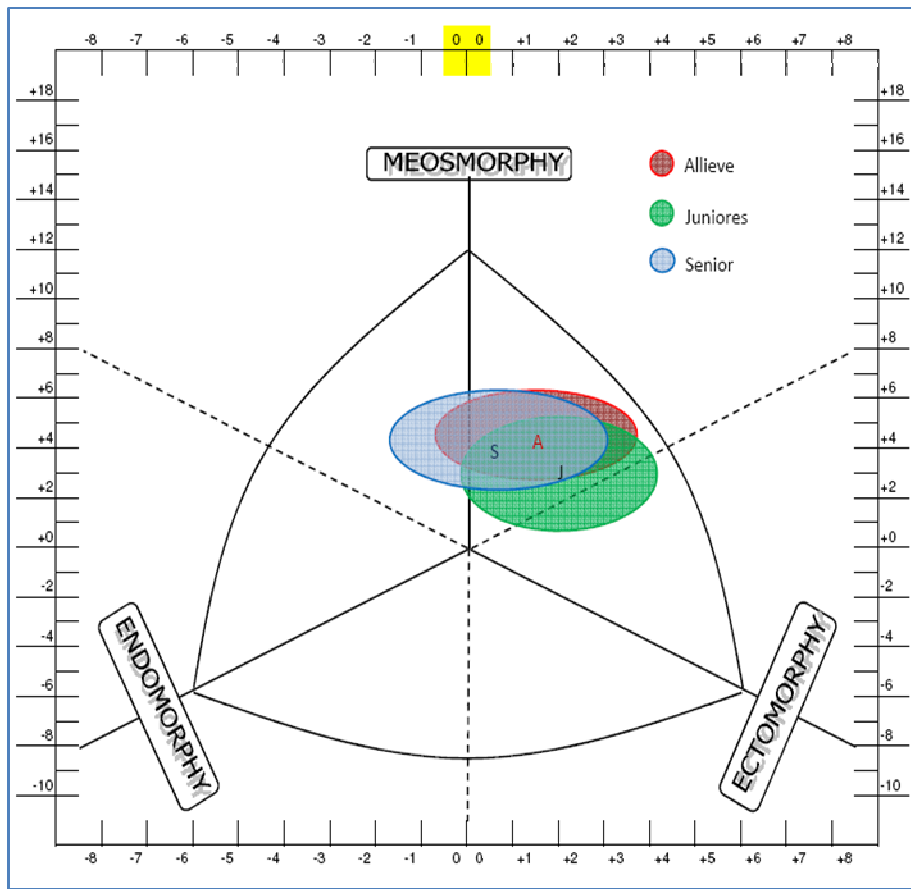
\*I dati di riferimento sono relativi ad un campione di ragazze belghe non-sportive rappresentativo della popolazione nazionale (Simons et al., 1990)

Se si considerano le atlete singolarmente questo risulta ancora più chiaro. Infatti, ben il 60% delle atlete ha una percentuale di massa grassa che scende al di sotto degli standard suggeriti da Lohmann (Lohmann, 1992). Il range di variabilità della percentuale di massa grassa è compreso tra 9.4% e 15%.

Per ciò che concerne gli aspetti relativi alla maturazione sessuale, *menarca*, solo 6 (2.5%) delle 42 ginnaste qui esaminate, tutte Seniores, hanno avuto la comparsa del menarca (età  $15.1 \pm 1.78$  anni) che si è presentata con un ritardo di circa 2.9 rispetto agli standard riferiti per la popolazione italiana non-sportiva (Zoppi et al., 1992).

La maggior parte delle ginnaste è caratterizzata da un *somatotipo* ecto-mesomorfo. Le ginnaste Senior si orientano di più verso la mesomorfia bilanciata (Figura 5.1).

L'analisi della varianza ed il post hoc test Fisher LSD non mostrano differenze significative tra i gruppi per ciò che concerne i valori del SAD, che esprime la differenza tra il somatotipo del singolo soggetto esaminato rispetto al somatotipo medio del gruppo. Questo risultato è confermato anche dai bassi valori del SAM riportati da tutte e tre le categorie di ginnaste (Tabella 5.2), che suggerisce una certa omogeneità nel campione di ginnaste per quanto concerne il somatotipo.



**Figura 5.1** Somatocarta per le Ginnaste della Squadra Nazionale Italiana. I cerchi attorno al somatotipo medio di ciascuna categoria di ginnaste rappresentano la dispersione dei somatotipi dal valore medio per quella categoria (SDM).

### 5.3.3 Confronto con atlete d'élite di altre discipline sportive.

Confrontando i risultati della *Statura e del Peso* con i dati presenti in letteratura relativamente alla popolazione *sportiva d'élite femminile*, emerge quanto riportato nella Tabella 5.5.

Le atlete prese come confronto, sono state selezionate tenendo in considerazione i lavori più recenti, l'età quanto più possibile simile al campione di ginnaste qui esaminato e le differenti richieste dei singoli sport, al fine di avere una visione abbastanza complessiva delle atlete provenienti da diverse discipline sportive.



**TABELLA 5.5** Valore Medio e Deviazione Standard della Statura e del Peso nelle Ginnaste del presente studio e nelle atlete d'élite praticanti diverse discipline sportive, suddivise in relazione al livello agonistico.

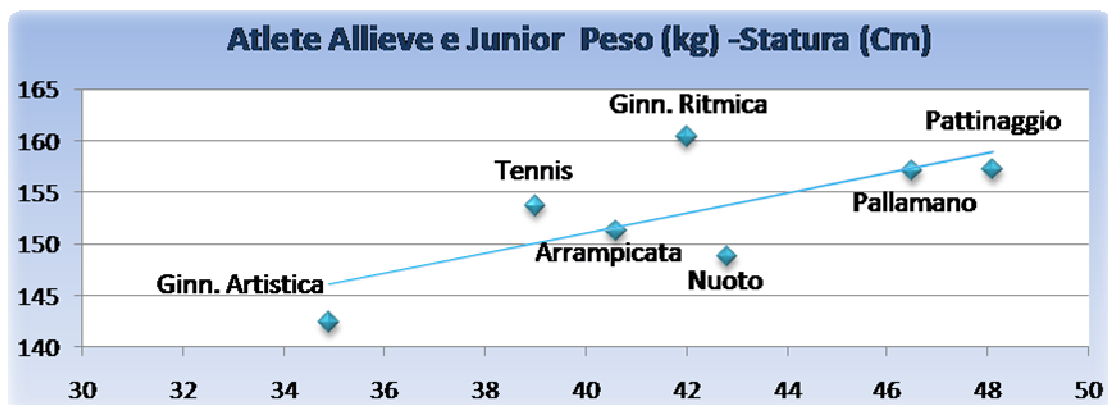
<b>LIVELLO Allieve/Juniores</b>				
<b>SPORT</b>	<b>Età</b>	<b>Statura</b>	<b>Peso</b>	<b>References</b>
<b>Ginnastica Artistica (n=33)</b>	12.4 ± 1.35	142.4 ± 8.5	34.9 ± 5.8	(Presente studio)
<b>Pattinaggio (N=66)</b>	14.1	157.2	48.1	(Monsma et al.,2005)
<b>Arrampicata (N=38)</b>	13.5 ± 3.0	151.3 ± 11.9	40.6 ± 9.6	(Watts et al.,2003)
<b>Ginnastica Ritmica (N=255)</b>	14.7 ± 2.1	160.4 ± 7.4	42.0 ± 7.3	(Georgopoulos et al.,1999)
<b>Nuoto (N=28)</b>	11.6 (10.2-13.9)	148.8 (133.3-166.4)	42.8 (25.1-53.0)	(Damsgaard et al.,2000)
<b>Tennis (N=12)</b>	11.9 (9.4-12.7)	153.7 (136.5-167.0)	39.0 (29.3-61.3)	(Damsgaard et al.,2000)
<b>Pallamano (N=24)</b>	12.3 (11.1-12.9)	157.1 (140.5-166.1)	46.5 (35.5-60.0)	(Damsgaard et al.,2000)
<b>LIVELLO Senior</b>				
<b>SPORT</b>	<b>Età</b>	<b>Statura</b>	<b>Peso</b>	<b>References</b>
<b>Ginnastica Artistica (N=9)</b>	17.0 ± 2.0	153.8 ± 5.6	46.8 ± 5.7	(Presente studio)
<b>Corsa Mezzofondo (N=24)</b>	20.3 ± 1.1	165.1 ± 6.6	57.3 ± 5.0	(Fornetti et al.,1999)
<b>Ginnastica Ritmica (N=11)</b>	16.5 ± 1.5	164.3 ± 3.3	51.0 ± 4.3	(Deutz et al.,2000)
<b>Danza (N=42)</b>	21.0 ± 2.0	162.6 ± 4.9	52.6 ± 4.3	(Yannakoulia et al.,2000)
<b>Pallavolo (N=163)</b>	23.8 ± 4.7	177.1 ± 6.5	69.5 ± 7.4	(Malousaris et al.,2007)
<b>Calcio (N=17)</b>	20.7 ± 2.0	162.4 ± 5.7	56.6 ± 5.0	(Can et al.,2004)
<b>Pallacanestro (N=133)</b>	22.1 ± 3.8	174.7 ± 7.8	71.5 ± 10.1	(Bayios et al.,2006)
<b>Pallamano (N=222)</b>	21.5 ± 4.6	165.9 ± 6.3	65.1 ± 9.1	(Bayios et al.,2006)
<b>Hockey su prato (N=10)</b>	19.8 ± 1.2	165.7 ± 7.5	62.7 ± 10.6	(Fornetti et al.,1999)
<b>Pattinaggio (N=66)</b>	17.7	156.3	50.1	(Monsma et al.,2005)

( ) Range di Variabilità

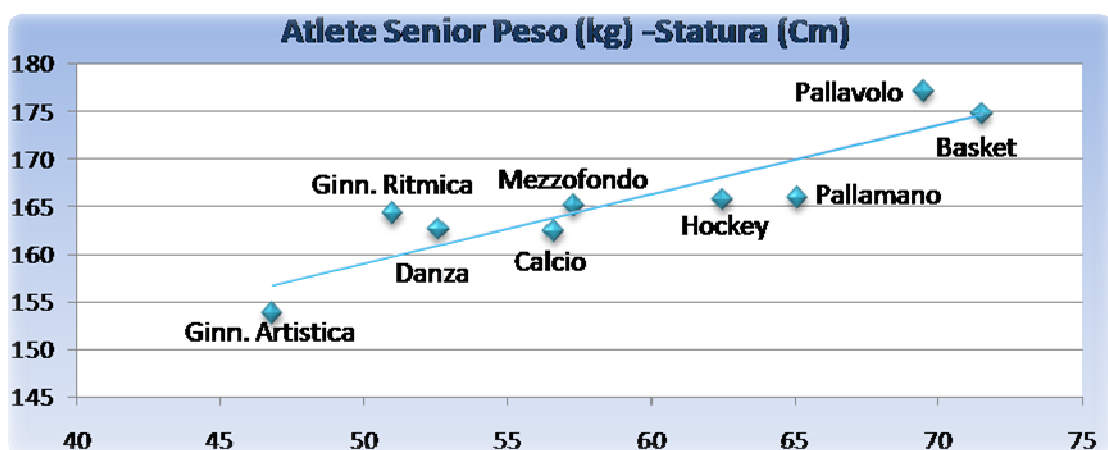
Le atlete esaminate nel presente studio risultano essere più basse e più leggere rispetto agli altri gruppi di atlete (Grafici 5.6 e 5.7). Infatti, le ginnaste Allieve e Juniores hanno una statura media inferiore di circa 12 cm e il peso medio minore di circa 8 Kg rispetto alle altre atlete. Se confrontate con le coetanee praticanti pallamano, le ginnaste risultano essere più basse di circa 14.5 cm ed avere un peso di circa 11.6 Kg inferiore.

Anche le ginnaste Seniores hanno una Statura media più bassa di circa 12 cm rispetto alle colleghe praticanti differenti discipline sportive.

Dal confronto con le atlete della ritmica, emerge come queste ultime siano più alte rispetto alle ginnaste dell'artistica, viceversa le differenze ponderali tra questi due gruppi di atlete tendono ad essere meno marcate.



**Grafico 5.6** Statura e peso nelle Ginnaste Allieve (presente studio) e nelle atlete d'elite Allieve e Juniores praticanti differenti discipline sportive



**Grafico 5.7** Statura e peso nelle Ginnaste Senior (presente studio) e nelle atlete d'elite Seniores praticanti differenti discipline sportive.

Le ginnaste esaminate nel presente studio hanno una **percentuale di massa grassa** inferiore rispetto alle atlete d'elite di origine caucasica praticanti altre discipline sportive (Tabella 5.6). Anche confrontate con le atlete praticanti Ginnastica Ritmica, esaminate in due diversi studi (*Georgopoulos et al., 1999; Deutz et al., 2000*) e con differenti metodi (Antropometrico e Futrex 5000), le ginnaste del presente studio presentano valori percentuali di massa grassa minori.

Per ciò che concerne il **somatotipo**, le ginnaste sono state considerate globalmente, vista la similarità del somatotipo medio nelle tre diverse categorie (Allieve, Juniores e Seniors).

Dal confronto del somatotipo delle atlete esaminate nel presente studio con alcuni dati riportati in letteratura (Fig 5.2) (*Leake et al., 1991; Gianpietro et al., 2003; Can et al.,*

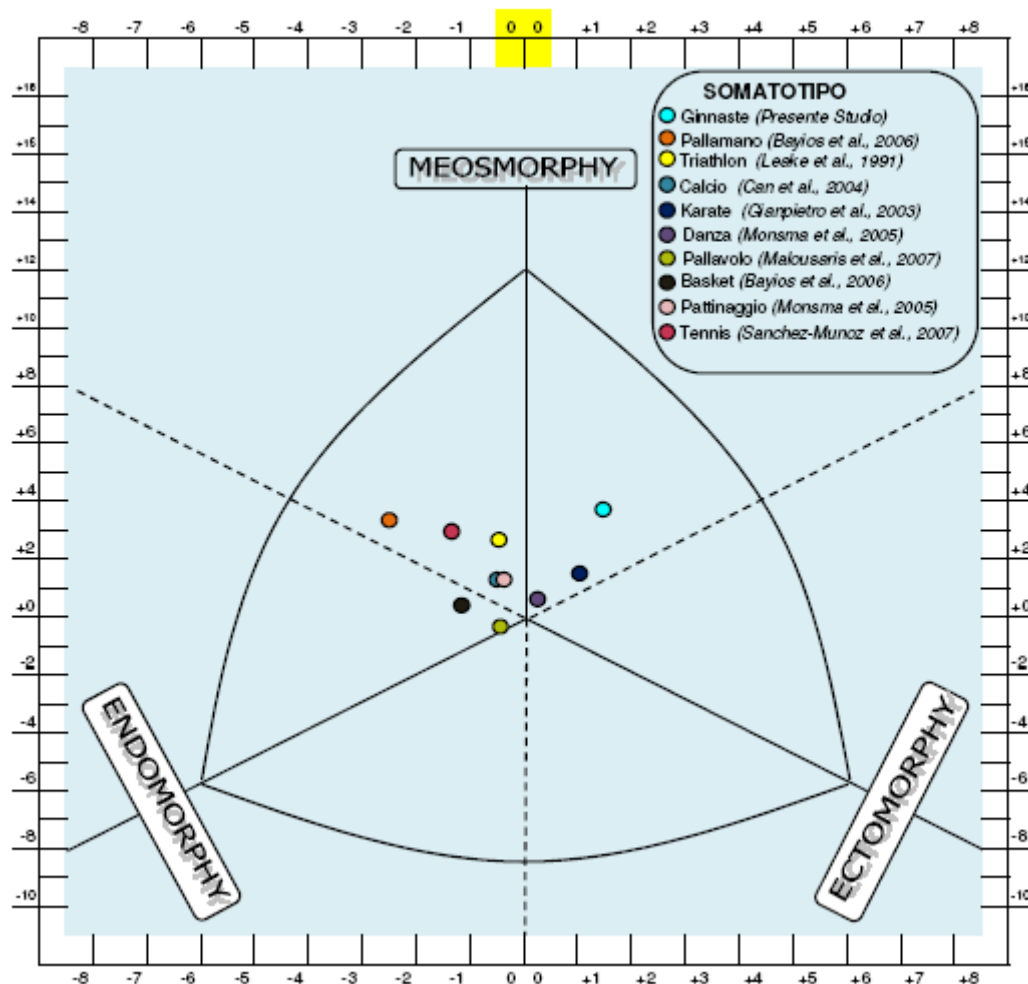
2004; Monsma et al., 2005; Bayios et al., 2006; Malousaris et al., 2007; Sanchez-Munoz et al., 2007), emerge come le ginnaste tendano da essere meno endomorfiche e più mesomorfiche rispetto alle atlete d'élite prese a confronto.

**TABELLA 5.6 Percentuale di Massa Grassa nelle Ginnaste del presente studio e nelle atlete d'élite praticanti differenti discipline sportive.**

SPORT	Età (anni)			% FAT			References
	n.	Media	SD	Metodo	Media	SD	
Ginnastica (A)	23	11.7	0.9	Antropometrico	11.9	1.0	Presente studio
Ginnastica (J)	10	14.1	0.3	Antropometrico	11.7	1.3	Presente studio
Ginnastica (S)	9	17.0	2.0	Antropometrico	12.2	1.0	Presente studio
Basketball	18	22.9	2.6	HW	21.0	2.1	Withers et al., 1987
Calcio	17	20.7	2.0	Antropometrico	21.9	0.6	Can et al., 2004
Corsa Sprint e Media distanza	20	26.6	4.5	Antropometrico	12.9	1.7	Deutz et al., 2000
Danza	42	21.0	2.0	Antropometrico	21.3	3.2	Yannakoulia et al., 2000
Diving	19	19.5	1.6	Antropometrico	17.4	2.6	Malina et al., 2002
Ginnastica Ritmica	255	14.7	2.1	FUTREX 5000	16.1	4.0	Georgopoulos et al., 1999
Ginnastica Ritmica	11	16.5	1.5	Antropometrico	13.69	1.6	Deutz et al., 2000
Mezzofondo	24	20.3	1.1	DXA	18.3	2.7	Fornetti et al., 1999
Nuoto	87	18.8	0.9	Antropometrico	16.5	1.6	Malina et al., 2002
Rock climbers	38	13.5	3.0	Antropometrico	15.9	2.9	Watts et al., 2003
Softball	17	20.4	1.4	DXA	20.9	3.9	Fornetti et al., 1999
Tennis	29	19.0	0.9	Antropometrico	17.7	2.4	Malina et al., 2002
Volleyball	163	23.8	4.7	Antropometrico	23.4	2.8	Malousaris et al., 2007

Abbreviazioni: HW, Pesata Idrostatica; (A), Allieve; (J), Juniores; (S), Seniores

Le uniche eccezioni sono rappresentate dalle atlete praticanti pallamano e tennis che si esprimono con valori mesomorfici leggermente più elevati (rispettivamente 4.70 e 4.60 vs 4.44 ginnaste) rispetto al campione di ginnaste esaminato.



**Figura 5.2** Somatotipo Medio delle Ginnaste delle Squadre Nazionali Italiane (presente studio) e delle atlete d'élite praticanti differenti discipline sportive.

## 5.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI

La presente indagine sulle caratteristiche antropometriche, la composizione corporea e il somatotipo nelle atlete italiane delle Squadre Nazionali di Ginnastica Artistica, appartenenti a 3 livelli competitivi, ha fornito indicazioni di un certo interesse per la maggior parte delle variabili studiate.

I risultati ottenuti indicano che, le ginnaste Senior sono significativamente più alte, hanno un peso maggiore, arti più lunghi, spalle e bacino più larghi e valori più elevati di tutte le pliche cutanee rispetto alle colleghe di livello agonistico inferiore (Allieve e Juniores). Le ginnaste Allieve sono le più basse, hanno arti più corti ed un peso minore rispetto ai due gruppi di livello superiore (Juniores e Seniores).

*L'effetto dell'età* sulla maggior parte delle caratteristiche antropometriche delle atlete è quindi *ben evidente*. Questo è dovuto principalmente ad una differenza significativa di questa variabile tra i 3 gruppi di ginnaste. Infatti, il range di variabilità dell'età è compreso tra 9.5 e 13 anni per la categoria Allieve, 13.5 e 15 anni per la categoria Juniores e 15.5 e 22 anni per la categoria Seniores.

Viceversa, quando si considerano le variabili che meno sono influenzate dell'età (*indice schelico, indice acromio-iliaco, composizione corporea e somatotipo*), le differenze tra i tre gruppi divengono meno marcate, indicando una certa omogeneità del campione per queste variabili che ***caratterizzano le ginnaste rispetto alla popolazione non-sportiva***.

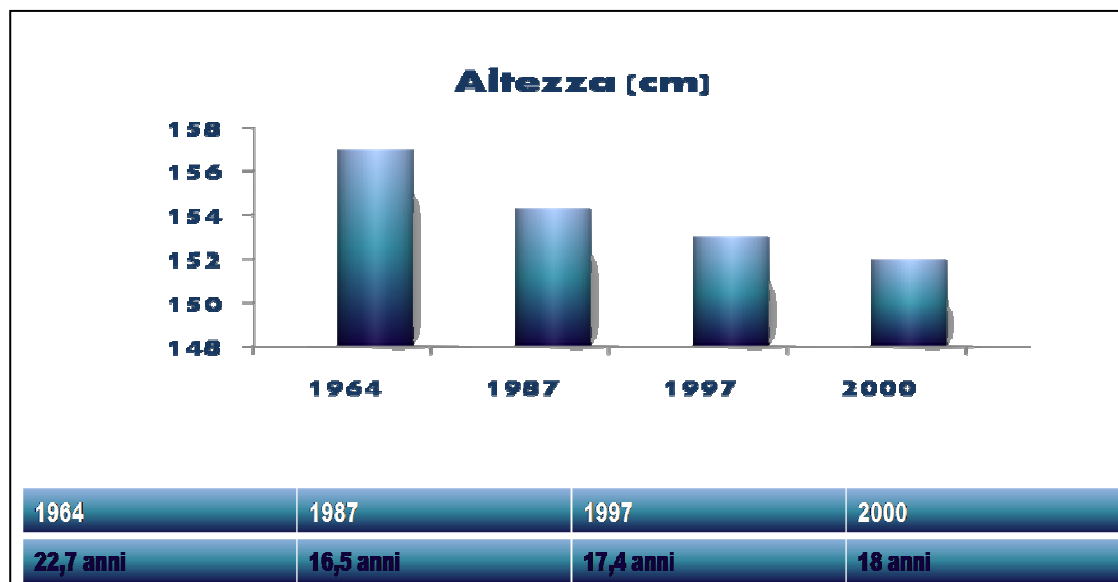
Per ***statura e peso*** le nostre atlete si assestano tutte, ed a tutte l'età, al di sotto del 25P degli standard di riferimento.

Generalmente, le giovani atlete praticanti diverse discipline sportive, hanno una statura che eguaglia o supera la media (P50) degli standard di riferimento per gli adolescenti non sportivi (Baxter-Jones et al., 2002). E' stato riscontrato che le atlete praticanti Basket, Pallavolo, Tennis e Nuoto hanno una statura media, dai 10 anni in poi, intorno al 50° percentile della popolazione di riferimento (Malina et al., 1994). Gli stessi risultati sono stati riscontrati per le atlete Juniores d'élite praticanti Canottaggio (Bourgois et al., 2001).

In contrasto, le ginnaste italiane d'élite esaminate nel presente studio sono più basse rispetto alla media della popolazione sportiva e non-sportiva di pari età.

Questi risultati sono in linea con quanto descritto in letteratura per questa classe di atlete (Malina, 1994; Bass et al., 2000; Daly et al., 2000; Georgopoulos et al., 2004 ). Infatti, come indicato dallo studio di Baxter-Jones e collaboratori (Baxter-Jones et al., 2002), le ginnaste presentano un profilo di bassa statura, con un valore medio che scende sempre al di sotto del P50. Robert Malina (Malina, 1994) evidenzia come le ginnaste abbiano una statura media che corrisponde approssimativamente al P10 degli standard di riferimento internazionali. Inoltre, in diversi studi si è osservato un trend secolare orientato verso un decremento della statura (Grafico 5.8). Infatti, come evidenziato da Beunen e collaboratori (1999), le ginnaste d'élite di oggi, sono in media più basse delle ginnaste di 20 anni fa.

Anche i nostri risultati vanno in questa direzione. Infatti, i valori della Statura relativi alle atlete più evolute (categoria Senior: Statura 153 cm) risultano simili a quelli riscontrati nelle ginnaste partecipanti ai Giochi Olimpici di Sidney del 2000 (Statura 152 cm).



**Grafico 5.8** Trend Statura nelle Ginnaste d'élite dal 1964 al 2000. References Data: Tokyo 1964 (Hirata, 1966); Rotterdam 1987 (Claessens, 1999b); Losanna 1997 (Leglise, 1998); Sidney 2000 (Borms e Caine, 2003)

Il peso presenta pattern simili a quelli della statura. In media, le atlete di altre specialità tendono ad avere un peso corporeo che eguaglia o supera i valori medi di riferimento P50. Le ginnaste esaminate nel presente studio, invece, presentano un peso inferiore rispetto alla media della popolazione non-sportiva di pari età, sempre al di sotto del 25P.

Questo risultato concorda con quanto riferito in letteratura (*Malina, 1994; Bass et al., 2000; Daly et al., 2000; Georgopoulos et al., 2004*).

E' utile però in tal contesto porre in evidenza che secondo *Baxter-Jones et al., 2002* il rapporto tra massa corporea e statura nelle ginnaste risulta essere appropriato.

A questo proposito occorre sottolineare che, a differenza della statura, il peso corporeo è influenzato dall'allenamento sistematico nei diversi sport, con risultati evidenziati dai valori di composizione corporea.

La **composizione corporea**, calcolata come si è detto mediante il metodo plicometrico, indica una percentuale di massa grassa nelle ginnaste molto bassa.

Nel nostro studio, la percentuale di grasso corporeo, è stata valutata utilizzando l'equazione di Slaughter (1988) che, come evidenziato anche da Janz e collaboratori (1993), appare la più accurata sia per i bambini che per gli adolescenti.

Questo basso valore di grasso corporeo, già citato in letteratura, è ritenuto avere un ruolo determinante nel raggiungimento di risultati eccellenti nella ginnastica artistica (*Falls e Humphrey, 1978; Lopez et al., 1979; Gajdos, 1984; Claessens et al., 1990, 1999a*). Non è noto, tuttavia, se il basso livello di massa grassa sia determinato dalla pratica sistematica della disciplina sportiva o, piuttosto, se le giovani ginnaste nascano con una maggiore predisposizione verso una composizione corporea che le favorirebbe nella pratica di questo sport (*Kirchner et al., 1995*).

Dal confronto con atlete praticanti differenti discipline sportive è emerso come le ginnaste italiane abbiano la percentuale di grasso corporeo più bassa. Anche rispetto alle ginnaste della ritmica, le atlete esaminate nel presente studio mostrano una percentuale di massa grassa inferiore. Risultati simili sono stati ottenuti da Deutz e collaboratori (2000), che hanno confrontato gruppi di atlete d'élite praticanti ginnastica artistica e ginnastica ritmica, appartenenti entrambe alle Squadre Nazionali USA. Le ginnaste della ritmica, a parità di introito calorico, avevano percentuali più elevate di grasso corporeo rispetto alle atlete dell'artistica. Le stesse conclusioni si riscontrano nell'indagine condotta da Theodoropoulou e collaboratori (2005) sulle atlete partecipanti ai Campionati del Mondo ed Europei di Ginnastica Artistica e Ginnastica Ritmica dal 1997 al 2004.

La massa magra (FFM) è invece elevata per tutte le ginnaste esaminate nel presente studio. Filaire (2002), nello studio condotto su giovani ginnaste d'élite Francesi, ha riscontrato percentuali elevate di massa magra, significativamente superiori alle percentuali riscontrate nel gruppo di controllo di pari età. La massa magra è associata positivamente con il contenuto minerale osseo e la densità ossea negli adolescenti (*Helge e Kanstrup, 2002*).

Nickols-Richardson e collaboratori (2000) hanno ipotizzato che l'attività ginnica possa contribuire ad incrementare la densità minerale ossea sia direttamente che indirettamente attraverso lo sviluppo della massa muscolare. Infatti, nella ginnastica artistica, l'impatto osteogenico potenziale dovuto all'attività di carico è estremamente elevato (11 volte superiore al peso del corpo) (*Groothaussen et al., 1997*) e lo scheletro viene esposto a forti sollecitazioni muscolari che ne sollecitano la mineralizzazione.

Ciò in accordo con la “*Teoria Meccanostatica*” di Frost (1988), secondo la quale l'osso si adatta alle tensioni sviluppate su di esso, soprattutto quando l'azione viene determinata da forze ad alto impatto (*Frost, 1988; Duncan & Turner, 1995*).

Le particolari caratteristiche fisiche sin d'ora evidenziate, riflettono, in larga misura, i criteri di selezione in questo sport. Una bassa statura ed un peso leggero si evidenziano

nelle giovani ginnaste ancor prima dell'inizio sistematico degli allenamenti ginnici (*Peltenburg et al., 1984b; Damsgaard et al., 2000*) e sono in parte dovuti a fattori di tipo familiare. Le ginnaste, in genere, hanno infatti genitori più bassi della media degli standard di riferimento (*Ziemilska, 1981; Theinz et al., 1989; Malina, 1999*).

Nello studio di Baxter-Jones e collaboratori (*1995*), condotto su un gruppo di atleti provenienti da diverse discipline sportive (ginnasti, nuotatori, calciatori e tennisti), la statura parentale venne utilizzata come elemento predittivo dell'altezza target degli stessi atleti da adulti. Gli autori riscontrarono nei ginnasti una statura target significativamente più bassa rispetto agli atleti praticanti altri sports.

Per ciò che concerne le **proporzioni corporee**, le ginnaste sono spesso descritte come atlete con arti inferiori corti rispetto alla statura (*Buckler et al., 1977*) o come atlete selezionate per avere gli arti corti (*Jahreis et al., 1991*). E' stato anche suggerito che la crescita degli arti inferiori delle ginnaste venga arrestata dall'intenso allenamento (*Jahreis et al., 1991, Theintz et al., 1993; Georgopoulos et al., 2002*), portando ad avere proporzionalmente gambe corte e bassa statura. Tuttavia, studi trasversali condotti su diversi campioni di ginnaste di livello internazionale indicano che il rapporto tra statura da seduto e statura totale (lunghezza relativa degli arti inferiori) è simile nelle ginnaste rispetto ai dati di riferimento per le ragazze non sportive di pari età (*Claessens et al., 1992*). Le nostre ginnaste, sebbene siano più basse in termini assoluti, hanno rapporti proporzionali simili degli arti inferiori e del tronco a quelli delle coetanee non atlete. Lo studio di Claessens et al., (*2006*) indica che la lunghezza relativa degli arti inferiori è influenzata dallo stato di maturazione biologica. Infatti, le ginnaste pre-menarca e post-menarca non scheletricamente mature, mostrano una lunghezza relativa degli arti inferiori superiore rispetto alle ginnaste post-menarca scheletricamente mature e simile ai dati di riferimento per la popolazione non-sportiva. Queste osservazioni mettono in evidenza la necessità di considerare lo stato di maturità delle ginnaste adolescenti in merito alle differenze di proporzione delle lunghezze del tronco e degli arti inferiori.

Inoltre, le ginnaste qui esaminate hanno mostrato un valore dell'indice acromio-iliaco superiore rispetto alle ragazze non-sportive di pari età, quindi una diversa proporzione tra larghezze bicrestiliaca e biacromiale che denota spalle larghe e bacino stretto in favore delle ginnaste. Anche questo risultato trova riscontro in letteratura (*Daly et al., 2000; Claessens et al., 1992; 2006*). Nel loro studio Claessens e collaboratori (*1992*) concludono



che le ginnaste d'élite non si differenziano dalle ragazze adolescenti nella lunghezza relativa dell'arto inferiore, viceversa esse hanno proporzionalmente spalle più larghe e bacino più stretto.

Delle 42 ginnaste esaminate nel presente studio (età media  $13.45 \pm 2.41$ ), solo 6 (2.5%) sono già sviluppate. La loro età media al **menarca** ( $15.1 \pm 1.78$  anni) suggerisce un ritardo di 2.9 anni rispetto agli standard di riferimento per la popolazione italiana indicati da Zoppi (1992) e di 1.5 anni rispetto agli standard di riferimento internazionale proposti da Thomas (Thomas et al., 2001).

Come riscontrato in precedenza, dal confronto con le altre ragazze non-sportive, il campione di ginnaste qui esaminato presenta un fisico pre-pubareale.

Una struttura fisica pre-pubareale è associata ad una performance migliore durante l'esecuzione dei movimenti acrobatici dotati di componenti rotatorie (Claessens et al., 2006).

I punteggi ottenuti dalle ginnaste durante i Campionati del Mondo di Rotterdam (1987) sembrano confermare questa associazione. Con le ginnaste suddivise semplicemente in due gruppi, pre-menarca e post-menarca, e quattro livelli, in funzione dell'età cronologica, i risultati tendevano in media ad essere migliori nel gruppo di ginnaste pre-menarca (Tabella 5.7).

**TABELLA 5.7** Punteggio del Campionato del Mondo di Rotterdam (1987) ottenuto dalle ginnaste pre e post menarca suddivise in funzione dell'età cronologica  
(Dati Claessens et al., 2006)

Gruppi di Età	Pre-menarca			Post-menarca		
	N	Media	SD	N	Media	SD
14	25	72.5	3.9	12	70.3	3.2
15	24	73.4	2.9	16	70.8	3.5
15	8	73.5	3.3	18	72.3	3.6
17	3	---	---	27	73.3	3.5

SD = Deviazione Standard

Le ginnaste pre-menarca, avevano dimensioni corporee più piccole rispetto alle ginnaste post-menarca della stessa età cronologica (Claessens et al., 2006).

I numerosi risultati presenti in letteratura sull'argomento sono tutti d'accordo (Tabella 5.8): le ginnaste hanno un ritardo dell'età al menarca di circa due anni rispetto agli standard di riferimento internazionali (Thomis *et al.*, 2001).

Lo studio di Weimann e collaboratori (Weimann *et al.*, 1999) mostra gli stessi risultati sulle ginnaste della Squadra Nazionale Tedesca, che presentano un ritardo puberale di circa 2 anni.

**TABELLA 5.8** Età al menarca in ginnaste d'élite e nel presente studio e standard di riferimento.

Referenze	Menarca	DS
<i>Bouix et al.</i> , 1997	14 anni 3 mesi	± 8 mesi
<i>Nichols DL et al.</i> , 1995	14 anni 4 mesi	± 1 anno 5 mesi
<i>Kirchner et al.</i> , 1995	14 anni 7 mesi	± 4 mesi
<i>Presente studio</i> , 2007	15 anni 1 mese	± 1 anno 6 mesi
<i>Claessens et al.</i> , 1992	15 anni 6 mesi	± 2 anno 1 mese
<i>Robinsons et al.</i> , 1995	16 anni 2 mesi	± 1 anno 7 mesi
<b>Standard Italiani</b> (Zoppi, 1992)	12 anni 2 mesi	—
<b>Standard Internazionali</b> (Thomas <i>et al.</i> , 2001)	13 anni 3 mesi	± 1 anno 5 mesi

SD = Deviazione Standard

Il lavoro di Baxter Jones e collaboratori (1994) ha messo in evidenza correlazioni tra l'età al menarca delle ginnaste e:

- l'età al menarca delle madri (Baxter Jones *et al.*, 1994; Malina *et al.*, 1994; Theintz *et al.*, 1989);
- il tipo di sport praticato ed il volume di allenamento (Baxter Jones *et al.*, 1994; Dyxon *et al.*, 1984);
- l'età all'inizio degli allenamenti (Baxter Jones *et al.*, 1994 ; Bernink *et al.*, 1983; Loucks *et al.*, 1992; Mansfield and Emans, 1993).

Quando i 3 fattori si presentano coesistenti nello stesso soggetto, il ritardo puberale risulterà significativamente marcato (Bricout, 2003).

La maggior parte delle ginnaste esaminate nel presente studio è caratterizzata da un **somatotipo** ecto-mesomorfo, anche se è da porre in evidenza come le ginnaste Senior siano maggiormente orientate verso una mesomorfia bilanciata. In linea generale, le giovani atlete di successo (11-17 anni circa) tendono ad avere un somatotipo simile alle atlete adulte del loro rispettivo sport (Carter, 1988; Geithner e Malina, 1993). In rapporto alle atlete adulte, le giovani atlete hanno valori endomorfici e mesomorfici leggermente inferiori e tendono ad essere più ectomorfiche (Baxter-Jones e Mafulli 2002). Quest'ultima componente riflette il ruolo dell'accrescimento nella fase di transizione dalla tarda adolescenza alla giovane età adulta. Anche nel nostro campione infatti, le atlete Senior risultano leggermente più endomorfiche (1.96 vs 1.70) e meno ectomorfiche delle colleghe più giovani appartenenti alle categorie Allieve e Juniores (2.66 vs 3.47).

E' ampiamente documentato il ruolo che la struttura fisica assume nel contribuire significativamente al successo in molti sport. Essa acquista particolare importanza negli sport estetici come la ginnastica, dove il punteggio della performance può essere influenzato dal come i giudici percepiscono il fisico della ginnasta (Baxter-Jones et al., 2002). Per esempio, nel campione di ginnaste d'élite partecipanti al Campionato del Mondo di Rotterdam del 1987, circa il 41% della varianza nel punteggio totale ottenuto durante la competizione poteva essere spiegato dall'endomorfia (coefficiente negativo) e dall'età cronologica (coefficiente positivo) (Claessens et al., 1999a).

Mentre il contributo dell'età cronologica suggerisce l'importante ruolo assunto dall'esperienza nelle competizioni internazionali, l'effetto negativo dell'endomorfia risulta essere più difficile da spiegare. Esso potrebbe riflettere una reale influenza dell'endomorfia sulla performance, l'effetto negativo della percezione dell'endomorfia da parte dei giudici o la combinazione di entrambi i fattori.

I risultati qui ottenuti dall'analisi del somatotipo concordano con quanto descritto in letteratura sul somatotipo ecto-mesomorfo delle ginnaste d'élite (Claessens et al., 1992).

Gli aspetti biomeccanici del movimento ginnico sembrano quindi favorire le atlete con un fisico lineare, una endomorfia relativamente bassa ed una mesomorfia decisamente sviluppata.

**Concludendo**, questa è la prima volta che un buon numero di ginnaste d'élite, provenienti dallo stesso paese, viene esaminato all'interno di uno stesso studio ad ampio spettro di caratteristiche morfologiche, permettendo un'analisi indipendente da influenze socioeconomiche, culturali, etniche ed ambientali.

Questi dati si aggiungeranno alla banca di riferimenti relativi alle caratteristiche antropometriche delle ginnaste europee d'élite per fornire un “*up-to-date*” dei valori per future sperimentazioni e valutazioni.

Quest'ultimo fattore appare di estrema rilevanza soprattutto se si considera l'attuale carenza di dati antropometrici completi e recenti nel campo specifico.

Infatti, troppo spesso si riscontrano in letteratura nuove pubblicazioni che si basano su dati rilevati circa 20 anni fa (*Claessens et al., 2006*), nonostante sia ben nota l'evidenza, sottolineata dallo stesso Claessens (*1999b*), relativa alle trasformazioni a cui è andata incontro la struttura fisica delle ginnaste d'élite dal 1960 ad oggi.

*Struttura Fisica e Composizione Corporea in Ginnasti Italiani d'élite*



## **6. STRUTTURA FISICA E COMPOSIZIONE CORPOREA IN GINNASTI ITALIANI D'ELITE**

### **6.1 INTRODUZIONE**

In rapporto ai pochi studi antropometrici condotti nell'ambito della ginnastica artistica femminile, le informazioni sulle variabili antropometriche dei ginnasti maschi sono ancora più limitate.

Le dimensioni antropometriche dell'atleta riflettono la morfologia, le proporzioni e la composizione del corpo e si configurano come variabili che giocano un ruolo significativo nel determinare il successo in uno specifico sport (*Norton e Olds, 2000*). L'attuale specializzazione dell'atleta ed il suo adattamento alle richieste dell'allenamento hanno determinato una morfologia corporea specifica per ogni disciplina sportiva. Gli atleti differiscono significativamente rispetto alla popolazione generale nel loro aspetto fisico e biologico. Vi è anche una vasta letteratura scientifica in cui si evidenziano differenze morfologiche tra atleti militanti in diverse discipline ed anche tra atleti praticanti differenti specialità all'interno dello stesso sport (*Carter, 1984; Claessens et al., 1991a*).

Il profilo antropometrico dei ginnasti Olimpionici è già stato studiato da Carter durante i Giochi Olimpici di Montreal del 1976 e pubblicato nel 1982 (*Carter, 1982*). Uno studio più recente, pubblicato da Claessens nel 1991 (*Claessens et al., 1991a*), fa riferimento alle caratteristiche antropometriche dei ginnasti partecipanti ai Campionati del Mondo di Rotterdam del 1987. Inoltre, altri studi realizzati su ginnasti partecipanti a competizioni Internazionali, Mondiali e Giochi Olimpici (*Dybowska and Dybowski, 1929; Cureton 1951; Hirata 1966,1979; de Garay y col, 1974; Zaharieva y col, 1979; Lopez y col, 1979, Gajdos 1984*) sono analizzati e riflessi nei lavori di Claessens (*Claessens et al., 1991b*).

Complessivamente, la maggior parte delle indagini si è limitata a considerare un numero insufficiente di variabili, come l'età, la statura, il peso, il somatotipo e/o la percentuale di massa grassa.

Nonostante lo sviluppo delle metodologie per la valutazione morfo-funzionale dell'atleta, lo studio dei ginnasti d'elite rimane una materia ancora da esplorare in questo settore. E' infatti molto difficile trovare in letteratura lavori di ricerca che facciano riferimento ai parametri morfologici, fisiologici, biomeccanici, nutrizionali di questo sport, specialmente nella sua versione maschile. Pertanto, sussiste ancora la necessità di stabilire parametri di riferimento specifici per i ginnasti, che potranno essere di grande utilità per la selezione dei futuri atleti e non solo.

La presente ricerca ha come **obiettivo** quello di descrivere le caratteristiche antropometriche della popolazione dei ginnasti maschi d'élite facenti parte delle Squadre Nazionali Italiane attraverso la stima del somatotipo, delle proporzioni e della composizione corporea. Ciò al fine di creare un profilo antropometrico caratteristico per questi ginnasti, che possa essere di supporto per gli studi futuri.

Inoltre, con la sola idea di descrivere la morfologia dei ginnasti italiani, verranno confrontate alcune caratteristiche antropometriche con i dati dei ginnasti d'élite e di altri sportivi di alta qualificazione agonistica ricavati dalla letteratura.

## 6.2 MATERIALI E METODI

Il **campione** era composto da **22** ginnasti d'élite appartenenti, negli anni 2005/2007, alle Squadre Nazionali Italiane di Ginnastica Artistica Maschile (età media  $18.63 \pm 5.08$ ) e facenti parte delle categorie Juniores (n.13 ginnasti) e Seniores (n.9 ginnasti). Il campione esaminato rappresentava l'intera popolazione di riferimento in termini di categoria e livello agonistico.

I ginnasti esaminati, appartenenti alle categorie Juniores e Seniores, avevano raggiunto livelli agonistici internazionali. La squadra Senior era formata dai ginnasti partecipanti alle Olimpiadi di Atene del 2004. Tra questi vi era il Campione Olimpico alla Sbarra (Atene, Grecia 2004).

I soggetti avevano praticato ginnastica artistica per anni  $11.04 \pm 5.08$  in media e si allenavano per  $26.27 \pm 6.21$  ore alla settimana.

Il protocollo di **valutazione antropometrica** adottato e le procedure per il calcolo del **Somatotipo** sono descritti nel **Capitolo 5** della presente trattazione.

Nei ginnasti della *Squadra Nazionale Juniores*, la percentuale di grasso corporeo (F%) è stata calcolata utilizzando la formula messa appunto da Slaughter (*Salughter et al., 1988*) per i maschi di età compresa tra i 6 ed i 17 anni. Il peso, espresso in Kg, della massa grassa (F Kg) è stato ottenuto utilizzando la seguente formula:  $F(Kg) = \text{Peso (Kg)} \times F\%/100$ .

Il peso, espresso in Kg, della massa magra si è ricavato dalla sottrazione della massa grassa (kg) dal peso corporeo totale (Kg).

Nei ginnasti della *Squadra Nazionale Seniores*, la percentuale di massa grassa (%F) è stata calcolata in accordo con le formule di Durnin e Womersley (1974) e Siri (1961b).



L'Indice di Massa Corporea (BMI) è stato calcolato con la seguente formula:

$$\text{Peso (Kg)} / \text{Statura (m}^2\text{)}.$$

Tutte le *analisi statistiche* condotte sono descritte nel **Capitolo 5** della presente trattazione.

### 6.3 RISULTATI

Le *caratteristiche generali* del campione esaminato sono riportate in Tabella 6.1. Complessivamente, il range di variabilità dell'età dei ginnasti è compresa tra i 12.5 e i 28 anni, e la distribuzione delle ore di allenamento settimanali varia tra le 15 e le 36 ore. Gli atleti praticano l'attività da 11.04 anni in media, con un range di variabilità compreso tra 5 e 22 anni.

TABELLA 6.1 Caratteristiche Generali del Campione (media $\pm$ SD)		
	Juniores (n=13)	Seniores (n=9)
Età (anni)	15.01 $\pm$ 1.68*	23.88 $\pm$ 3.34*
Anni di pratica	7.38 $\pm$ 1.88*	16.33 $\pm$ 3.89*
Ore di allenamento settimanali	22.76 $\pm$ 5.50*	31.33 $\pm$ 2.64*
*) Differenze Significative (P< 0.01)		

I ginnasti Senior, come attendibile, hanno un'età maggiore ( $p<0.01$ ) e praticano l'attività da più tempo ( $p<0.01$ ) rispetto ai colleghi di livello agonistico inferiore (Junior). Il volume di allenamento, in termini di numero di ore di attività per settimana, risulta significativamente ( $p=0.01$ ) superiore nei ginnasti Senior rispetto agli Junior.

#### 6.3.1 L'effetto dell'età

Il profilo antropometrico dei ginnasti esaminati, suddiviso in relazione alla categoria di appartenenza (Juniores e Seniores) è riportato in Tabella 6.2.

Un effetto significativo del livello competitivo si è riscontrato sulle larghezze bicrestiliaca e biacromiale e sulle variabili relative alla composizione corporea.

I ginnasti Senior pesano di più ( $p=0.008$ ), hanno una maggiore percentuale di massa grassa ( $p=0.01$ ), uno sviluppo più elevato della massa magra ( $p=0.001$ ) ed un valore superiore per il BMI ( $p=0.004$ ) rispetto ai colleghi di livello agonistico inferiore.

**TABELLA 6.2 Variabili Antropometriche, Composizione Corporea e Somatotipo dei Ginnasti Italiani appartenenti ai 2 livelli agonistici (media media  $\pm$  SD)**

	Juniores (n=13)	Seniores (n=9)	Post hoc Test LSD
Statura (cm)	161.44 $\pm$ 11.11	169.02 $\pm$ 5.78	NS
Peso (Kg)	55.76 $\pm$ 12.31	69.38 $\pm$ 4.29	$p = 0.008$
Stat. da Seduto (cm)	84.08 $\pm$ 5.90	87.84 $\pm$ 2.68	NS
L. Arto Superiore (cm)	72.56 $\pm$ 5.04	76.77 $\pm$ 2.78	NS
L. Arto Inferiore (cm)	75.91 $\pm$ 5.36	76 $\pm$ 4.80	NS
L. Biacromiale	37.66 $\pm$ 3.41	41.71 $\pm$ 0.91	$p = 0.0006$
L. Bicrestiliaca	24.72 $\pm$ 2.36	26.75 $\pm$ 1.24	$p = 0.028$
Circonferenza Braccio Contratto	31.54 $\pm$ 4.12	36.86 $\pm$ 1.28	$p = 0.002$
Circonferenza Braccio Rilassato	28.01 $\pm$ 3.65	33.22 $\pm$ 1.72	$p = 0.001$
Circonferenza Polpaccio	34.84 $\pm$ 4.22	36.13 $\pm$ 1.37	NS
Indice Schelico	92.02 $\pm$ 5.53	92.47 $\pm$ 5.87	NS
Rapp. Hsed/Stat (%)	52.09 $\pm$ 1.47	51.99 $\pm$ 1.54	NS
Somma 5 SKFS (mm)	30.80 $\pm$ 4.18	28.83 $\pm$ 3.25	NS
F%	8.69 $\pm$ 1.25	10.07 $\pm$ 1.13	$p = 0.01$
FFM (Kg)	50.85 $\pm$ 10.92	62.40 $\pm$ 4.06	$p = 0.001$
BMI (Kg/m <sup>2</sup> )	19.73 $\pm$ 7.26	28.25 $\pm$ 3.12	$p = 0.004$
Endomorfia	1.65 $\pm$ 0.19	1.73 $\pm$ 0.25	NS
Mesomorfia	6.25 $\pm$ 1.14	6.38 $\pm$ 0.97	NS
Ectomorfia	2.47 $\pm$ 0.78	1.60 $\pm$ 0.68	$p = 0.004$
SAM	0.01	0.18	NS

NS= Non Significativo ( $p>0.05$ )

Gli atleti Senior hanno anche una maggiore circonferenza del braccio, sia contratto ( $p=0.002$ ) che rilassato ( $p=0.001$ ).

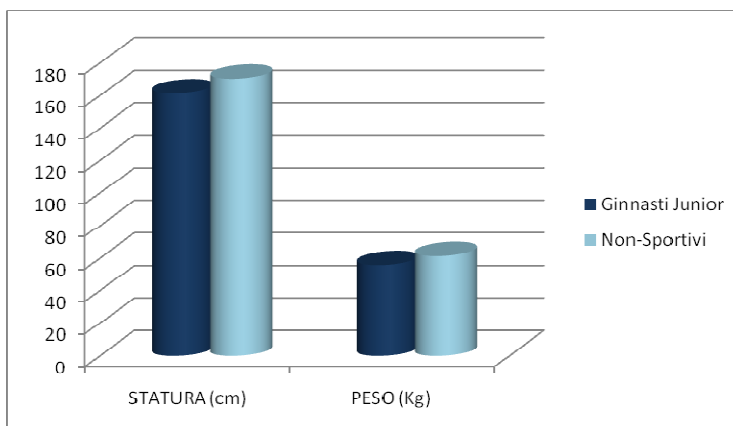
Lo sviluppo più elevato della massa magra, da parte degli atleti Senior rispetto agli Junior, è dovuta principalmente a differenze significative riscontrate, tra i due gruppi di atleti, nel peso corporeo. Se, infatti, si considera il livello percentuale della massa magra, i risultati indicano che i ginnasti Junior hanno percentuali significativamente superiori ( $p=0.01$ ) rispetto ai colleghi più evoluti (rispettivamente 91.30% vs 89.92%). Gli atleti Junior hanno inoltre valori minori delle larghezze bicrestiliaca ( $p=0.008$ ) e biacromiale ( $p=0.008$ ) e valori superiori per la componente ectomorfica del somatotipo ( $p=0.008$ ). Nessuna differenza significativa si è riscontrata per la Statura Totale, la Statura da Seduto e le lunghezze degli arti superiori ed inferiori ( $p<0.05$ ).

### 6.3.2 Confronto rispetto a non-sportivi

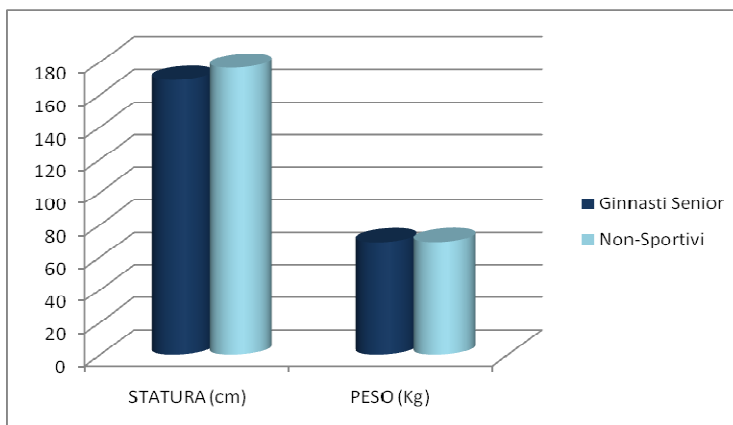
Rispetto ai percentili in rapporto all'età (Cacciari *et al.*, 2006) i ginnasti italiani (Juniores e Seniores) sono localizzati leggermente sopra il 10P per la statura (Tabella 6.3), mentre considerando il peso in rapporto all'età, gli atleti Juniores si localizzano intorno al 25P e i ginnasti Seniores in linea al 50P (Tabella 6.3). Analizzando gli atleti singolarmente emerge che oltre il 44% dei ginnasti esaminati ha una statura tra il 10P ed il 3P, circa il 33% si localizza tra il 10P ed il 25P e solo 5 su 22 ginnasti esaminati (23%) hanno una statura che

eguaglia o supera il 50P. Per ciò che concerne il peso, solamente 2 su 22 ginnasti (9%) si localizzano tra il 3P ed il 10P, il 18% si posiziona tra il 10P ed il 25P, oltre il 54% ha un peso che rientra tra il 25P ed il 50P, mentre 4 su 22 ginnasti esaminati (18%) si localizzano tra il 50P ed il 75P.

I grafici 6.1 e 6.2 schematizzano i dati concernenti il peso e la statura nel campione di ginnasti esaminato e nella popolazione italiana non-sportiva (Cacciari *et al.*, 2006). Dall'analisi dei dati emerge come i ginnasti abbiano mediamente una statura inferiore rispetto ai coetanei della stessa



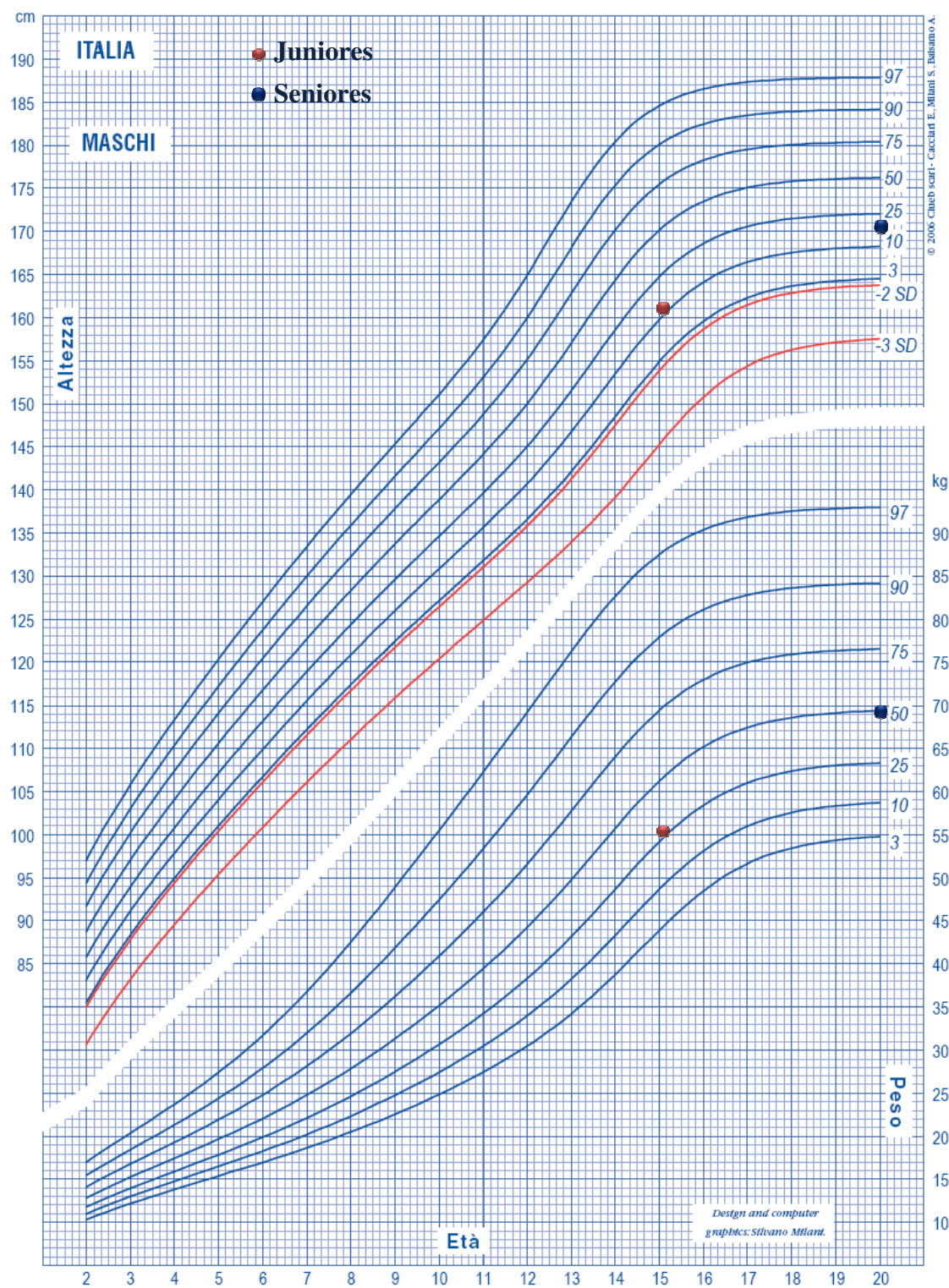
**Grafico 6.1** Statura e Peso nei Ginnasti Juniores (presente studio) e nella popolazione non sportiva italiana di pari età (Cacciari *et al.*, 2006).



**Grafico 6.2** Statura e Peso nei Ginnasti Seniores (presente studio) e nella popolazione non sportiva italiana di pari età (Cacciari *et al.*, 2006).

nazionalità. I risultati si differenziano tra i due livelli agonistici per ciò che concerne il peso. Infatti, mentre i ginnasti Junior hanno un peso mediamente inferiore rispetto alla media della popolazione italiana (rispettivamente 55,76 Kg vs 61,3 Kg), gli atleti Senior rientrano nel valore medio relativo agli standard di riferimento per la popolazione non-sportiva di pari età (ginnasti=69.3 Kg vs non-sportivi= 70.3 Kg).

TABELLA 6.3 Percentili Statura/Peso/ Età ginnasti italiani Juniores



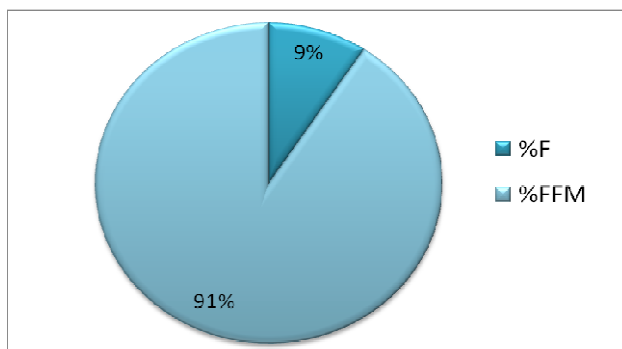
Cacciari E, Milani S, Balsamo A & Directive Councils of SIEDP/ISPED for 1996-97 and 2002-03, J Endocrinol Invest, 29(7):581-593, 2006.



In relazione alle **proporzioni corporee**, il gruppo di atleti considerato globalmente si caratterizza per avere un valore medio dell'indice schelico di  $92.25 \pm 5.54$ , che li classifica come individui macroschelici e da un valore dell'indice acromio-iliaco ( $64.45 \pm 3.47$ ) che li classifica come individui con bacino stretto e spalle larghe. Analizzando i singoli ginnasti individualmente emerge come il 64% rientri nella macroschelia ed abbia quindi un maggiore sviluppo degli arti inferiori rispetto al tronco, mentre il rimanente 26% rientra nella mesatischelia.

Anche per questi aspetti i ginnasti differiscono dalla popolazione italiana (Facchini et al., 1982). Hanno, infatti, valori inferiori per l'indice acromio-iliaco (64.45 vs 80.01) e leggermente superiori per l'indice schelico (92.25 vs 91.79). Anche il valore medio del diametro bicefalo risulta esser minore nei ginnasti (25.5 cm) rispetto ai maschi italiani (33.5 cm), mentre il diametro biacromiale è più elevato nei ginnasti (39.72 cm) rispetto allo stesso gruppo di maschi italiani (38.01 cm).

Per ciò che concerne la **composizione corporea**, gli atleti esaminati presentano una bassa



**Grafico 6.3** Percentuale di Massa Grassa (%F) e Massa Magra (%FFM) nel Campione di Ginnasti esaminato.

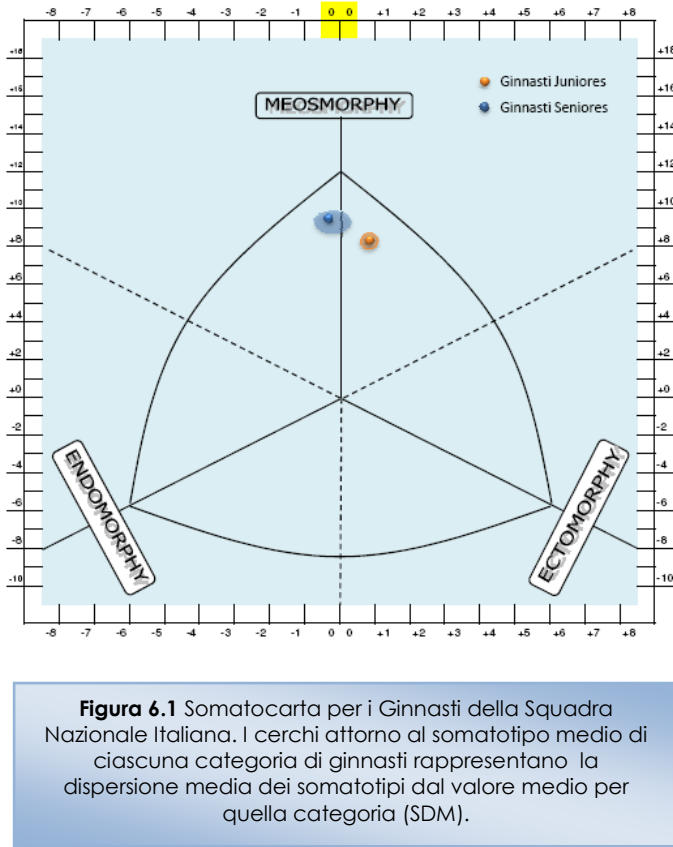
percentuale di massa grassa ( $9.25 \text{ F\%} \pm 1.06$ ) ed un'alta percentuale di massa magra ( $90.74 \text{ FFM\%} \pm 1.36$ ). I valori di massa grassa risultano mediamente inferiori rispetto agli standard per i non-atleti (18 F%) ma in linea con il range di variabilità relativo ai ginnasti (5-10 F%) indicato da Heyard (2004).

Il range di variabilità della percentuale di massa grassa è compreso tra 6.7% e

11.4% mentre quello relativo alla massa magra è compreso tra 88.5% e 93.2%.

La maggior parte dei ginnasti è caratterizzata da un **somatotipo** mesomorfo-bilanciato (Figura 6.1).

L'analisi della varianza ed il post hoc test di LSD non mostrano differenze significative ( $p > 0.05$ ) tra i gruppi per ciò che concerne i valori del SAD, che esprime la grandezza della differenza tra il somatotipo del singolo soggetto esaminato rispetto al somatotipo medio del gruppo.



Questo risultato si conferma anche dai bassissimi valori del SAM riportati dalle due categorie di atleti (Tabella 6.2), che suggerisce una forte omogeneità nel campione di ginnasti per quanto concerne il somatotipo.

Però è d'obbligo evidenziare che, mentre i valori delle componenti mesomorfica ed endomorfica non si differenziano dal punto di vista statistico in entrambi i gruppi di atleti, la componente ectomorfica si presenta significativamente superiore nei ginnasti Junior rispetto agli Senior.

### 6.3.3 Confronto con atleti d'élite di altre discipline sportive.

Confrontando i risultati della **Statura** e del **Peso** con alcuni dati relativi alla popolazione sportiva d'élite maschile, emerge quanto riportato nella Tabella 6.4. I ginnasti esaminati nel presente studio sono mediamente più bassi rispetto agli atleti praticanti differenti discipline sportive (Grafici 6.4 e 6.5).

I ginnasti Juniores hanno in media una statura inferiore di circa 5.25 cm rispetto ai valori riscontrati negli altri atleti. Nonostante ciò, il peso non si discosta in maniera rilevante da quello degli sportivi considerati, ad esclusione dei ciclisti.

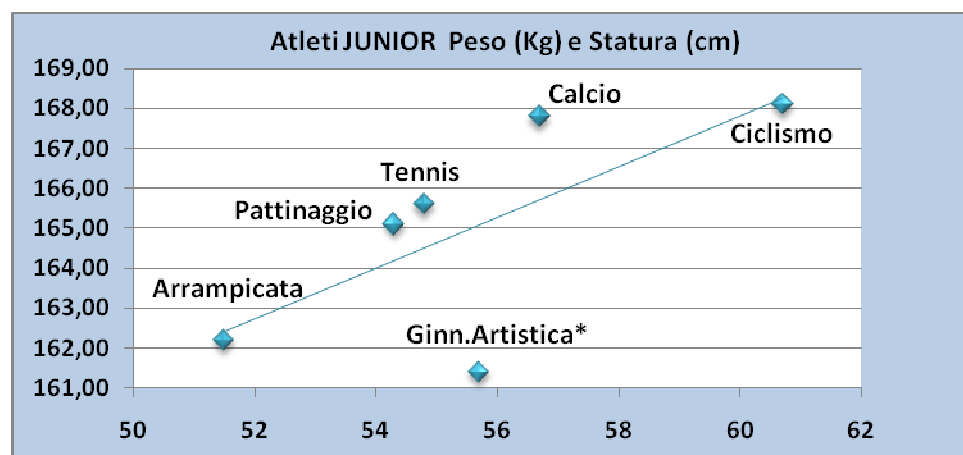
Il divario nella statura si accentua nei ginnasti Senior, i quali presentano mediamente un'altezza di circa 15.48 cm inferiore rispetto agli altri atleti d'élite. Le differenze staturali influenzano necessariamente anche le divergenze ponderali tra i ginnasti e gli altri atleti. Il peso, infatti, si presenta inferiore di circa 11.65 Kg in media nei ginnasti Senior in confronto agli sportivi d'élite di pari età.

**TABELLA 6.4** Valore Medio e Deviazione Standard della Statura e del Peso nei Ginnasti del presente studio e negli atleti d'élite praticanti diverse discipline sportive, suddivisi in relazione al livello agonistico.

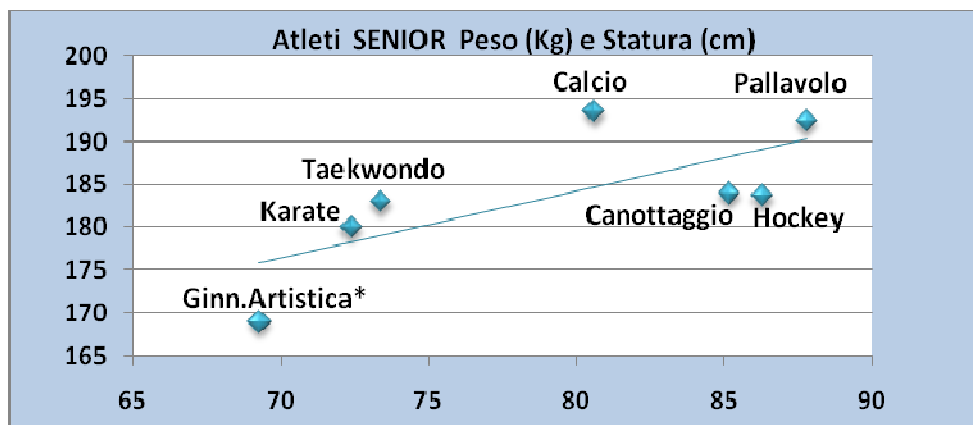
LIVELLO Juniores				
SPORT	Anni	Statura	Peso	References
Ginnastica Artistica (n=13)	15.0 ± 1.6	161.4 ± 11.1	55.7 ± 12.3	(Presente studio)
Pattinaggio (N=20)	15.1 ± 1.4	165.1 ± 9.8	54.3 ± 10.1	(Leone & Larivière et al.,1998)
Ciclismo (N=21)	15.1 ± 1.2	168.1 ± 8.5	60.7 ± 10.6	(Leone & Larivière et al.,1998)
Tennis (N= 35)	14.5 ± 1.5	165.6 ± 11.5	54.8 ± 11.0	(Leone & Larivière et al.,1998)
Calcio (N=69)	14.3 ± 0.6	167.8 ± 8.9	56.7 ± 9.1	(Malina et al.,2004b)
Arrampicata (N=90)	13.5 ± 3.0	162.2 ± 15.6	51.5 ± 13.6	(Watts et al.,2003)

LIVELLO Senior				
SPORT	Anni	Statura	Peso	References
Ginnastica Artistica (N=9)	23.8 ± 3.3	169.0 ± 5.7	69.3 ± 4.2	(Presente studio)
Taekwondo (N=16)	24.4 ± 3.3	183.0 ± 0.8	73.4 ± 12.1	(Kazemi et al.2004)
Canotaggio (N=50)	24.8 ± 3.0	184.3 ± 5.8	85.2 ± 6.2	(Ackland et al.,2003b)
Karate (N=14)	23.8 ± 2.8	180.0 ± 7.0	72.4 ± 8.7	(Gianpietro et al.,2003)
Pallavolo (N=234)	24.7 ± 4.4	192.4 ± 6.9	87.8 ± 8.3	(Gualdi Russo et al.,2001)
Calcio (N=17)	24.1 ± 3.8	183.5 ± 6.4	80.6 ± 7.7	(Svantesson et al.,2008)
Hockey su ghiaccio (N=16)	25.6 ± 6.1	183.7 ± 5.0	86.3 ± 5.3	(Svantesson et al.,2008)



**Grafico 6.4** Statura e peso nei Ginnasti Junior (\* presente studio) e negli atleti d'élite Juniores praticanti differenti discipline sportive

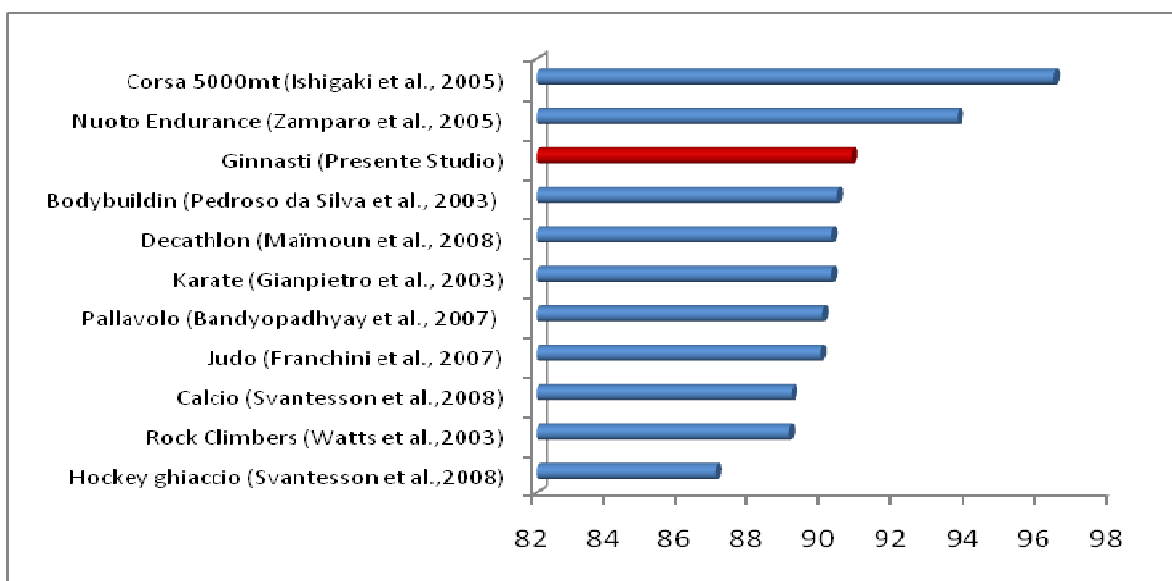


**Grafico 6.5** Statura e peso nei Ginnasti Senior (\* presente studio) e negli atleti d'elite Seniores praticanti differenti discipline sportive

Per ciò che concerne la **composizione corporea**, come evidente dalla Tabella 6.5, i ginnasti esaminati nel presente studio hanno una percentuale di massa grassa che si presenta simile a quella riscontrabile nella maggior parte di sportivi d'elite.

Fanno eccezione gli atleti praticanti discipline di endurance (Corsa 5000mt e Nuoto su lunghe distanze) e gli hockeisti su ghiaccio che hanno valori percentuali di massa grassa rispettivamente molto inferiori e superiori rispetto al campione esaminato.

La percentuale di massa magra si presenta lievemente superiore nei ginnasti rispetto agli altri sportivi d'elite (Grafico 6.6) ad esclusione degli atleti praticanti discipline di Endurance. Gli sportivi che più si avvicinano ai valori riscontrati nei ginnasti sono rappresentati dai Body Builders.



**Grafico 6.6** Percentuale di massa magra (FFM%) nei ginnasti ed in atleti d'elite praticanti differenti discipline sportive.

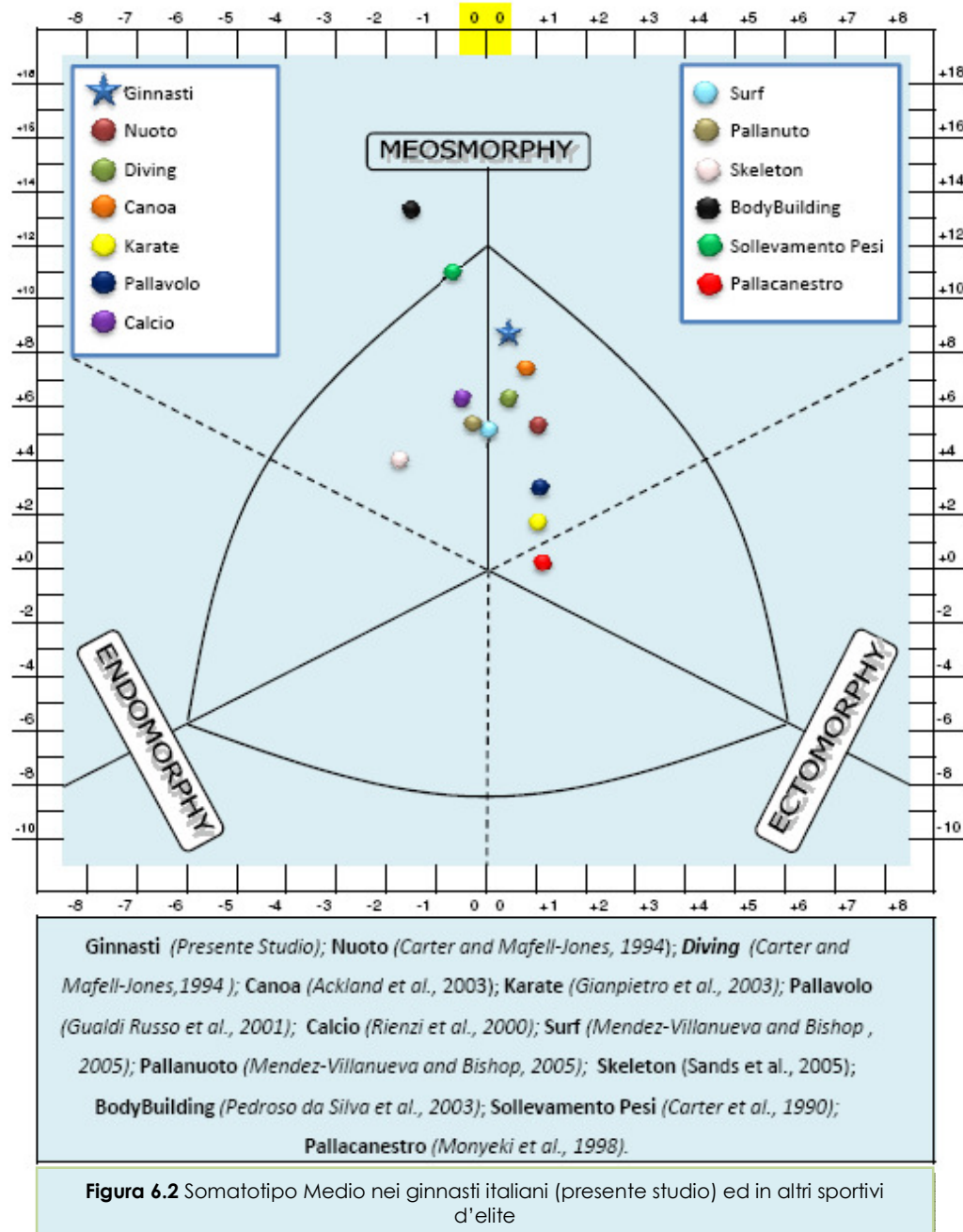


**TABELLA 6.5 Percentuale di Massa Grassa nei Ginnasti del presente studio e negli atleti d'élite praticanti differenti discipline sportive.**

SPORT	N.	Età (anni)		% FAT			References
	n.	Media	SD	Metodo	Media	SD	
Ginnastica (J)	13	15.0	1.6	Antropometrico	8.6	1.2	Presente studio
Ginnastica (S)	9	23.8	3.3	Antropometrico	10.0	1.3	Presente studio
Hockey Ghiaccio	16	25.6	6.1	DXA	13.0	4.0	Svantesson et al., 2008
Calcio	17	24.1	3.8	DXA	11.9	3.8	Svantesson et al., 2008
Karate	14	23.8	2.8	Antropometrico	9.8	1.6	Gianpietro et al., 2003
Rock Climbers	90	13.5	3.0	Antropometrico	11.0	2.8	Watts et al., 2003
Judo	22	25.5	4.3	Antropometrico	10.1	5.7	Franchini et al., 2007
Corsa (5000 mt)	13	20.5	1.1	Antropometrico	3.6	0.7	Ishigaki et al., 2005
Decathlon	13	22.4	2.9	DXA	9.8	0.7	Maimoun et al., 2008
Nuoto Endurance	5	27.8	4.0	Antropometrico	6.3	2.4	Zamparo et al., 2005
Basketball	60	23.4	3.5	Antropometrico	11.5	4.6	Ostojic et al., 2006
Rugby	16	24.2	3.3	HW	10.3	3.2	Whithers et al., 1987
Volleyball	82	22.3	1.3	HW	10.0	2.9	Bandyopadhyay et al., 2007
Bodybuilding	23	33.4	11.4	Antropometrico	9.6	0.5	Pedroso da Silva et al., 2003

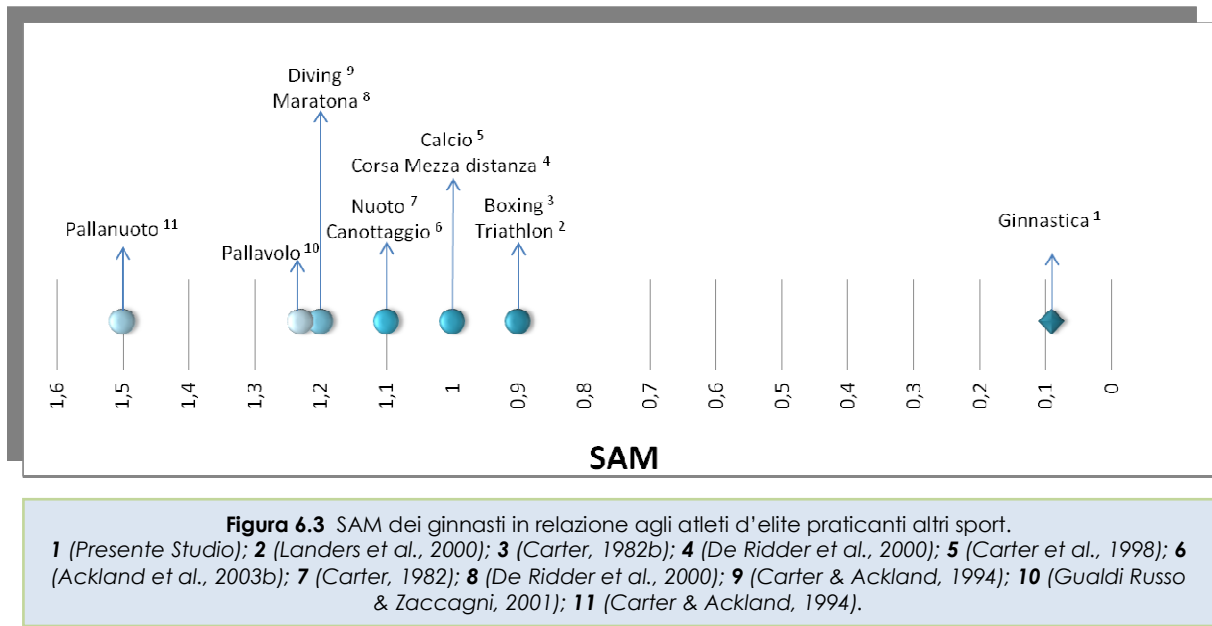
Abbreviazioni: HW, Pesata Idrostatica; DXA, Densimetria Assiale a Raggi X

Dal confronto del *somatotipo* medio degli atleti esaminati con alcuni dati riportati in letteratura (Fig. 6.2), emerge come i ginnasti risultino tendenti ad una mesomorfia bilanciata, più accentuata rispetto a quella riscontrabile in altri atleti d'élite, ad esclusione dei Body Builder e dei Solleventori di Pesi.



Rapportando i dati relativi alla misura della dispersione media del singolo somatotipo rispetto alla media del gruppo (SAM), emerge come il campione esaminato si caratterizzi maggiormente rispetto agli altri atleti dal punto di vista dell'omogeneità somatotipica. Nella figura 6.3, è infatti interessante notare come il somatotipo dei singoli ginnasti non

vari rispetto al somatotipo medio del gruppo, esprimendo un valore del SAM (0.09) che risulta essere il più basso registrato tra gli sportivi d'elite presi in considerazione.



## 6.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI

La presente indagine sulla descrizione delle caratteristiche antropometriche dei ginnasti delle Squadre Nazionali Italiane di Ginnastica Artistica Maschile ha fornito diverse indicazioni utili ad ampliare ed aggiornare la banca dei dati antropometrici presenti in letteratura e relativa agli atleti maschi d'elite che praticano ginnastica artistica.

I risultati ottenuti indicano che, i ginnasti Senior hanno un peso maggiore, una percentuale di massa grassa superiore ed una Statura non differente rispetto ai colleghi di livello agonistico inferiore (Junior). I ginnasti Junior hanno viceversa una maggiore percentuale di massa magra, spalle e bacino più stretti e valori superiori della componente ectomorfica del somatotipo.

L'effetto del livello competitivo non è quindi ben definibile sulla maggior parte delle caratteristiche antropometriche degli atleti. Il divario tra i due gruppi di ginnasti nel peso e nelle larghezze bicrestiliaca e biacromiale sono imputabili principalmente ad una differenza significativa in termini di età tra i livelli agonistici. Infatti, il range di variabilità dell'età è compreso tra 12.5 e 17.5 anni per la categoria Juniores e 19 e 28 anni per la categoria Seniores. Anche la componente ectomorfica del somatotipo, superiore nei ginnasti Junior rispetto agli Senior, viene influenzata dall'età, essendo la Statura non

differente dal punto di vista statistico tra i due gruppi di ginnasti ed avendo il peso un valore significativamente superiore nei ginnasti Senior rispetto agli Junior.

Le lievi differenze riscontrate nella composizione corporea, riflettono chiaramente il normale andamento della massa grassa e della massa magra nei maschi, durante il periodo che va dall'adolescenza fino alla prima maturità. A tal proposito è infatti utile ricordare che nei ragazzi, il grasso percentuale aumenta fino allo "spurt" adolescenziale, momento in cui diminuisce fino a toccare il suo minimo intorno ai 16 o 17 anni, per poi di nuovo incrementare durante la prima maturità (*Malina e Bouchard, 1991*). La diminuzione della massa grassa è altresì accompagnata da un rapido sviluppo della massa magra (*Malina, 1986*).

Gli atleti italiani esaminati nel presente lavoro sono più bassi rispetto alla media della popolazione sportiva e non-sportiva di pari età. Anche a livello percentile, i ginnasti si localizzano in media sotto al P25 degli standard di riferimento.

Questi risultati sono in linea con quanto descritto in letteratura per questa classe di atleti (*LeVeau et al 1974., Carter et al.1984, Norton et al.1984, 1994; Claessens et al. 1991a, Daly et al.,2000; Georgopoulos et al., 2004; Ward et al.,2005*).

Viceversa, il **peso corporeo** non segue gli stessi pattern della statura, rientrando all'interno del valore medio (50P) degli standard di riferimento per la popolazione non-sportiva nei ginnasti Senior e localizzandosi superiormente al 25P per i ginnasti Junior. In questi ultimi, il peso si presenta superiore rispetto agli atleti d'élite praticanti differenti discipline sportive, ad esclusione dei ciclisti, che mostrano comunque una statura maggiore rispetto ai ginnasti di circa 7 cm. Il peso corporeo del gruppo Senior risulta essere più basso in rapporto a quello degli atleti d'élite praticanti altri sport, su cui agisce evidentemente l'importante differenza staturale (statura di circa 15 cm superiore negli atleti d'élite rispetto ai ginnasti Senior). Si può inoltre realisticamente ritenere che il peso sia anche influenzato dall'effetto dell'allenamento che influisce sugli sportivi d'élite, a differenza della popolazione non-sportiva, nell'incrementare notevolmente la massa muscolare.

Preso atto dei limitati studi morfologici aggiornati sui ginnasti d'élite di sesso maschile, dal confronto con alcuni dati disponibili in letteratura (*LeVeau et al 1974., Norton et al.1974, Rodriguez Bies & Barral de la Rosa, 2006; Claessens et al., 1991a*) emerge come i ginnasti senior italiani abbiano un peso corporeo decisamente superiore rispetto ai colleghi di pari livello appartenenti ad altre Nazioni (Tabella 6.6). I valori della statura totale sono

invece simili a quelli riportati negli altri gruppi di ginnasti, ad eccezione degli atleti giapponesi e argentini i quali risultano i più bassi tra tutti i ginnasti considerati (Tabella 6.6).

TABELLA 6.6 Statura e Peso nei Ginnasti Italiani senior (presente studio) e nei Ginnasti d'élite.

	N.	Età (anni)		Statura (cm)		Peso (Kg)		
SPORT	n.	Media	SD	Media	SD	Media	SD	References
Italiani (S)	9	23.8	3.3	169.2	5.7	69.3	4.2	Presente studio
Giapponesi	6	23.7	3.2	164.3	5.2	61.8	3.6	LeVeau et al., 1974
Americani	7	21.7	1.6	169.6	4.6	61.4	3.6	LeVeau et al., 1974
Australiani	7	19.8	2.7	169.9	5.5	64.1	6.4	Norton et al., 1974
Argentini	25	21.1	3.3	166.2	4.3	65.5	4.3	Rodriguez Bies & Barral de la Rosa, 2006
Rotterdam '87	165	21.9	2.4	167.0	6.3	63.6	6.2	Claessens et al., 1991a

(S) Squadra nazionale Senior

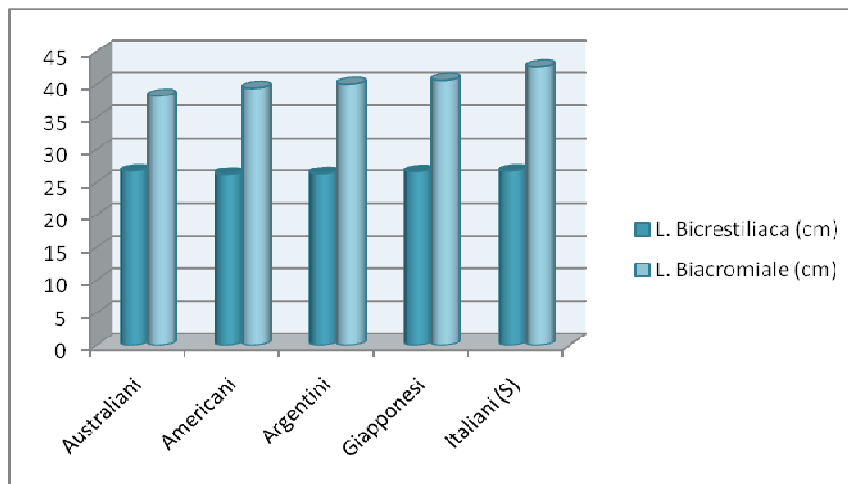
La particolare bassa statura, caratteristica dei ginnasti maschi di alto livello, è stata da alcuni autori attribuita a fattori famigliari piuttosto che a processi indotti dall'allenamento ginnico (Buckler et al., 1977; Rich et al., 1992; Claessens et al., 1999b; Malina et al., 1999). A vantaggio di questa ipotesi va lo studio di Daly e collaboratori (2005), che non ha riscontrato associazioni tra il deficit della statura nei ginnasti e le variabili concernenti l'allenamento.

Un altro aspetto caratterizzante la struttura fisica dei ginnasti esaminati nel presente lavoro è rappresentato dalle misure delle *larghezze bicrestiliaca* e *biacromiale*. I ginnasti mostrano infatti spalle più larghe e bacino più stretto rispetto alla popolazione italiana non-sportiva.

La particolarità di queste due dimensioni corporee suggerisce una certa rilevanza per la pratica ottimale di questa disciplina sportiva, soprattutto in considerazione del fatto che la maggior parte degli attrezzi (4 su 6) della ginnastica artistica maschile richiede un importante impiego della parte superiore del corpo. Nei ginnasti esaminati, il rapporto tra larghezza bicrestiliaca e biacromiale si esprime attraverso bassi valori dell'indice acromio-iliaco, che si riscontrano anche in altri studi condotti su questa classe di atleti (Carter et al. 1984, Claessens et al. 1991a,).

Confrontando le misure delle larghezze bicrestiliaca e biacromiale nei ginnasti senior con i dati relativi a ginnasti d'élite di altre nazionalità (LeVeau et al 1974., Norton et al. 1974,

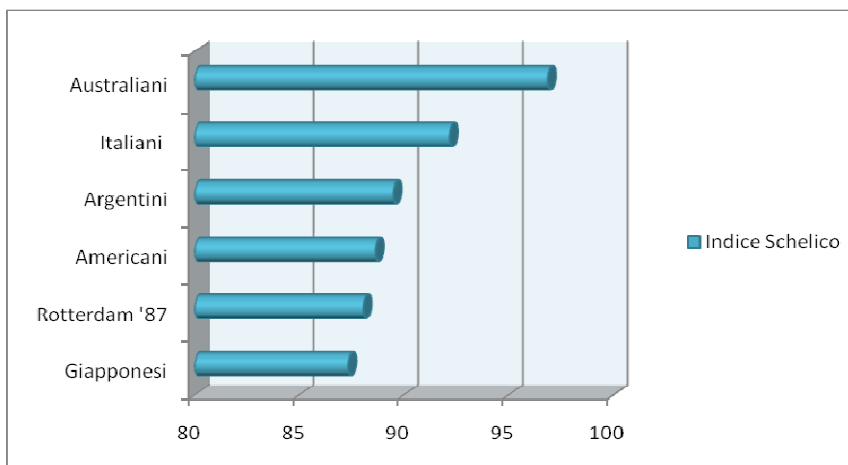
Rodriguez Bies & Barral de la Rosa, 2006), emerge come il campione esaminato abbia valori superiori per ciò che concerne la larghezza biacromiale, mentre non si riscontrano grosse differenze per la misura della larghezza bicrestiliaca (Grafico 6.7). Anche rapportando i risultati ai dati di Claessens e collaboratori (1991a), relativi ai ginnasti partecipanti ai Campionati del Mondo di Rotterdam del 1987, i ginnasti qui esaminati mostrano un maggiore sviluppo della



**Grafico 6.7** Larghezze Bicrestiliaca (cm) e Biacromiale (cm) nei ginnasti italiani senior (presente studio) ed in ginnasti d'élite provenienti da altre nazioni.

larghezza delle spalle (Ginnasti Italiani = cm 42.7 vs Ginnasti Rotterdam = cm 38.5), viceversa, non emergono differenze per ciò che concerne la larghezza del bacino (Ginnasti Italiani = cm 26.7 vs Ginnasti Rotterdam = cm 26.3).

I risultati ottenuti dal calcolo dell'*indice schelico* indicano come i ginnasti italiani abbiano un maggiore sviluppo degli arti inferiori rispetto al tronco. Questo risultato si riscontra anche in ginnasti australiani di livello internazionale (Norton et al.1974),



**Grafico 6.8** Valori dell'Indice Schelico nei ginnasti italiani senior (presente studio), in ginnasti d'élite provenienti da altre nazioni e partecipanti ai Campionati del Mondo di Rotterdam del 1987.

e mondiale (LeVeau et al 1974., Rodriguez Bies & Barral de la Rosa, 2006), compresi i partecipanti al Campionato del Mondo di Rotterdam del 1987 (Claessens et al., 1991a), si evidenziano valori dell'indice schelico che riportano alla classificazione della mesatischelia (Grafico 6.8).

La **composizione corporea** dei soggetti esaminati nel presente studio è stata calcolata mediante il metodo plicometrico. La media della percentuale di massa grassa nel campione considerato globalmente è risultata molto bassa rispetto agli standard di riferimento per la popolazione non-sportiva (18%). Tuttavia, i valori ottenuti sono in linea con i range di variabilità indicati per gli atleti in generale (5-10F%) e per i ginnasti in particolare (Heyard, 2004).

La percentuale di massa magra si è presentata molto elevata in tutti i ginnasti (90.7%) ed anche in confronto agli sportivi d'élite praticanti differenti discipline sportive.

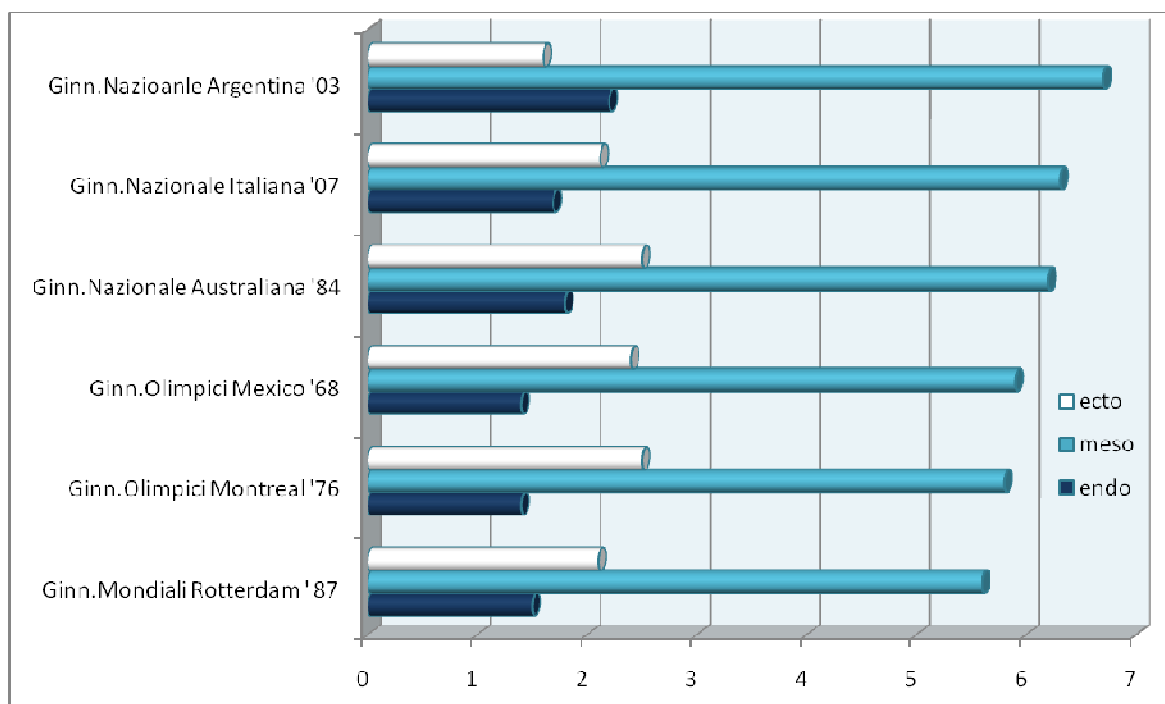
Questo dato, caratteristico dei ginnasti di vertice, si riscontra in tutti gli studi condotti su questa classe di atleti ((LeVeau et al 1974., Carter et al.1984, Norton et al.1984, 1994; Claessens et al. 1991a, Daly et al.,2000; Georgopoulos et al., 2004; Ward et al.,2005; Rodriguez Bies & Barral de la Rosa, 2006 ).

Anche i risultati ottenuti dall'analisi del **somatotipo** enfatizzano un'importante omogeneità tra i ginnasti, ed in generale una netta prevalenza della componente mesomorfica del somatotipo, con valori molto bassi di ectomorfia. Questi risultati sono in accordo con quanto rilevato da Carter (1984), anche se è importante sottolineare il valore mesomorfico superiore del gruppo di ginnasti esaminati nel presente lavoro. Il somatotipo dei ginnasti italiani si differenzia dagli atleti praticanti altre discipline (Carter and Mafell-Jones, 1994; Ackland et al., 2003; Gianpietro et al., 2003; Gualdi Russo et al., 2001; Rienzi et al., 2000; Mendez et al., 2005; Sands et al., 2003; Pedroso da Silva et al., 2003; Carter et al., 1990; Monyeki et al., 1998).

La mesomorfia dei ginnasti risulta essere inferiore solo a quella dei body builder e dei sollevatori di pesi (Fig.6.2).

I bassissimi valori del SAM evidenziano l'omogeneità somatotipica del gruppo dei ginnasti esaminato anche rispetto agli altri sportivi d'élite (Fig.6.3). Confrontando i dati con gli studi presenti in letteratura (Carter, 1984; Claessens et al., 1991a; Canda Moreno, 1993; Rodriguez Bies & Berral de la Rosa,2003) emerge, come i ginnasti italiani siano più mesomorfici del resto dei ginnasti d'élite, ad esclusione dei ginnasti argentini (Grafico 6.9).

L'endomorfia rientra nel valore medio osservato negli altri ginnasti così come l'ectomorfia.



**Grafico 6.9** Valori medi delle componenti del Somatotipo nei Ginnasti Italiani (presente studio) ed in altri ginnasti d'elite. (Carter, 1984; Claessens et al., 1991a; Canda Moreno, 1993; Rodriguez Bies & Berral de la Rosa, 2003)

La minor distanza posizionale del somatotipo (SAD), calcolata tra i ginnasti italiani e gli altri ginnasti d'elite, si registra con il somatotipo medio degli Australiani valutati da Norton nel 1984 (1984), essendo questa di 0.41 unità. Viceversa, la maggior distanza registrata, con un SAD di 0.82, si riscontra con i ginnasti Argentini valutati da Rodriguez Bies and Berral de la Rosa nel 2003 (2003). Gli altri SAD, calcolati tra i ginnasti italiani e i ginnasti valutati durante i Giochi Olimpici di Montreal del 1976 (Carter, 1990) ed i Campionati del Mondo di Rotterdam del 1987 (Claessens et al., 1991a), presentano risultati simili, rispettivamente di 0.57 e 0.69 unità.

**Concludendo**, i risultati ottenuti dall'analisi delle Squadre Nazionali Italiane Maschili di Ginnastica Artistica evidenziano una forte omogeneità di questa classe di atleti sotto il profilo antropometrico.

I ginnasti italiani si caratterizzano, infatti, rispetto alla popolazione non-sportiva e sportiva d'elite, per ciò che concerne la statura ed il peso, le larghezze birectiliaca e biacromiale, nonché la composizione corporea ed il somatotipo.



Le caratteristiche della bassa statura, di un'importante massa muscolare, delle spalle ampie e di un bacino stretto, si configurano come un evidente vantaggio biomeccanico in termini di successo nella performance in questo sport.

Anche il confronto con i risultati sui ginnasti d'elite ricavati dalla letteratura, benché molto spesso datati, evidenzia una certa costanza delle caratteristiche della struttura fisica dei ginnasti dal 1968 sino ad oggi, a differenza di quanto invece accaduto per la ginnastica artistica femminile (*Claessens et al., 2006*).

Ciò suggerisce una chiara associazione tra la struttura fisica degli atleti e la specializzazione sport specifica.



*Caratteristiche Antropometriche e Punteggio della Performance  
in Ginnaste d'élite*



## 7. CARATTERISTICHE ANTROPOMETRICHE E PUNTEGGIO DELLA PERFORMANCE IN GINNASTE D'ELITE

### 7.1 INTRODUZIONE

Come illustrato da diversi modelli per l'analisi della performance sportiva, i livelli di eccellenza nello sport si raggiungono per mezzo della complessa interazione di diversi fattori; tra questi, quelli morfometrici rivestono un ruolo di estrema rilevanza (*Franks et al., 1986; Norgan, 1994*). Studi condotti su sportivi di livello nazionale, internazionale ed Olimpico mostrano differenze costanti nei tratti morfologici, che variano a seconda della disciplina sportiva praticata (*Carter et al., 1990; Tunner, 1964, Carter et al., 1990; Malina, 2007*).

Le caratteristiche fisiche assumono ancor più rilevanza in quelle attività, come ad esempio la Ginnastica Artistica, in cui il corpo influenza direttamente la percezione della giuria ai fini dell'emissione del verdetto finale (*Malina, 1999; Claessens et al., 1999a*). Inoltre nella Ginnastica Artistica, all'aspetto estetico di un corpo ginnico-specifico, si somma l'importante fattore biomeccanico che caratterizza e condiziona significativamente la prestazione. Infatti, il successo nella performance ginnica dipende essenzialmente dalla delicata interazione tra i parametri inerziali dei vari segmenti corporei e le forze interne ed esterne che agiscono sugli stessi segmenti (*Jensen, 1978*). I momenti di inerzia dei segmenti corporei rappresentano la forza che contrasta con gli sforzi della ginnasta nel sviluppare il momento lineare ed angolare. Conseguentemente una ginnasta con grande segmento inerziale dovrà sviluppare una maggiore forza per mantenere i pattern di movimento analoghi ad una ginnasta che è invece in possesso di segmenti inerziali minori (*Ackland et al., 2003a*), ciò anche in considerazione del fatto che la maggior parte dei movimenti in questo sport è eseguita con moto roto-traslatorio. Sin dagli anni '80 sono stati condotti lavori scientifici nel campo dell'antropometria applicata alla ginnastica artistica di alto livello (*Lopez et al., 1979; Dzhaferov e Vasil'chuk, 1987; Claessens et al., 1991a*). Da questi appare evidente come, in campo femminile, la ginnastica artistica risulti essere uno sport che caratterizza notevolmente l'atleta dal punto di vista morfologico.

Alcune ricerche suggeriscono che i ginnasti di alto livello, nel momento in cui iniziano la pratica dell'attività ginnica, siano già in possesso di particolari basi determinate da un genotipo che li favorisce nella pratica di tale sport (*Richards, 1999*). In questo senso, anche la linea di tendenza del Codice dei Punteggi, emanato dalla Federazione Internazionale,

sembra indirizzarsi verso una selezione marcata dei soggetti in grado di soddisfare le esigenze in esso contenute. Infatti, la propensione nel corso degli ultimi decenni verso l'implementazione di sempre maggiori componenti acrobatiche, sembra consolidarsi anno dopo anno, aumentando in tal modo vertiginosamente le difficoltà eseguibili ai singoli attrezzi (*Federation International De Gymnastique, 2005*), che divengono accessibili solo ai soggetti in possesso di un'ideale struttura fisica.

Lo studio di Borms e collaboratori (2003) sembrerebbe confermare che questa evoluzione tecnica del Codice dei Punteggi si riflette soprattutto nella richiesta di una morfologia ideale per la pratica ginnica. Infatti dal confronto delle ginnaste d'élite partecipanti alle maggiori competizioni internazionali nel periodo di tempo compreso tra il 1967 ed il 2000, emerge un trend decrescente orientato verso stature più basse e pesi più leggeri (*Borms et al., 2003*). Il trend può in parte essere attribuito alla naturale selezione sport - specifica basata sul diretto vantaggio bio-meccanico di un fisico pre-puberale che include un incremento nel rapporto forza/peso, maggiore stabilità e decremento dei momenti di inerzia .

Questa caratterizzazione sport-specifica rende evidente come la struttura fisica diventi un pre-requisito essenziale per una performance di successo nella ginnastica artistica.

Ma, un approccio interessante della questione potrebbe essere quello di stabilire quali siano le variabili antropometriche che più di altre possono predisporre una ginnasta d'élite al raggiungimento di alti punteggi nella performance durante le competizioni. Uno studio autorevole sull'argomento è quello condotto da Claessens e collaboratori (1999a) sulle ginnaste partecipanti ai 24° Campionati del Mondo di Rotterdam del 1987.

Partendo dall'analisi delle asserzioni di Claessens e collaboratori (1999a), nel presente capitolo ci si è proposti di:

- a) individuare le variabili antropometriche correlate alla performance delle ginnaste italiane d'élite;
- b) quantificare le relazioni tra punteggio della performance e caratteristiche antropometriche delle ginnaste italiane d'élite.

## 7.2 MATERIALI E MOTODI

Il *campione* era composto da **19 ginnaste** d'élite appartenenti alle Squadre Nazionali Italiane di Ginnastica Artistica Femminile (età media  $15.50 \pm 2.04$ ) nell'anno 2006 e facenti parte delle categorie Juniores (10 ginnaste) e Seniores (9 ginnaste). Il campione esaminato rappresentava l'intera popolazione di riferimento in termini di categoria e livello agonistico.

Tutte le ginnaste esaminate avevano raggiunto livelli agonistici internazionali al momento della rilevazione.

I soggetti avevano almeno 7 anni in media di pratica ginnica e si allenavano mediamente per  $28.23 \pm 6.88$  ore alla settimana.

*Il protocollo di misurazione antropometrica* attuato è illustrato nel Capitolo 5 della presente trattazione.

Le componenti del *somatotipo* (endomorfia, mesomorfia ed ectomorfia) sono state calcolate in accordo con le equazioni raccomandate da Heath & Carter (Carter, 1980; 1990).

*Il Punteggio della performance* si basa sulle classifiche finali ottenute nel corso degli anni 2006 e 2007 durante i Campionati Italiani a Squadre di Serie A, Campionato Italiano Assoluto, Tornei Internazionali, Campionati Europei e Campionati del Mondo, per un totale di 16 competizioni considerate. I punteggi sono stati registrati per ogni ginnasta su ciascuna specialità e nell'All-around (Classifica Assoluta data dalla somma dei punteggi ottenuti dalle singole ginnaste su tutte e 4 le specialità). Le statistiche descrittive dei punteggi ottenuti durante la performance sono riportati nella tabella 7.1.

*Analisi Statistica.* Le relazioni tra le caratteristiche morfologiche ed il punteggio della performance sono state analizzate inizialmente calcolando la correlazione tra ciascuna variabile ed il punteggio medio ottenuto dalle ginnaste nelle 16 competizioni, successivamente utilizzando la regressione multipla stepwise in cui le caratteristiche antropometriche ed il somatotipo erano le variabili indipendenti ed il punteggio della performance era la variabile dipendente. La variabile correlata maggiormente con il punteggio è stata la prima variabile inclusa nel modello. La variabile con la correlazione maggiore con il residuo della prima regressione è stata inclusa nel modello come seconda

variabile indipendente e così via. Il software statistico ha quindi provveduto a selezionare passo dopo passo le variabili indipendenti sulla base dei valori di F impostati su 2.00 per inserire la variabile e 1.00 per rimuoverla dall'equazione. Si è quindi elaborato un modello di regressione multipla finale che includesse solo le variabili antropometriche più correlate con la variabile dipendente ed in grado di spiegarne la maggior percentuale di varianza.

Tutte le analisi statistiche sono state condotte mediante l'utilizzo del programma STATISTICA (Versione 7).

### 7.3 RISULTATI

Dall'analisi delle singole specialità, emerge come il range di variabilità del punteggio ottenuto dalle ginnaste durante la performance è compreso tra 3.30 per il Volteggio a 5.95 per le Parallele, mentre il punteggio ottenuto nell'All-around ha un range di variabilità di 16.20 (Tabella 7.1).

**TABELLA 7.1.** Punteggi delle Ginnaste Italiane nelle singole specialità ed in All Around

SPECIALITA'	N. GINNASTE	MEDIA SD	MIN	MAX
Volteggio	19	13.48 ± 0.67	11,80	15,10
Parallele	19	13.30 ± 0.93	10,20	16,15
Trave	19	13.32 ± 0.72	10,50	15,63
Corpo Libero	19	13.24 ± 0.73	10,85	15,45
All Around	19	53.42 ± 2.68	45,90	62,10

La scarsa variabilità nel punteggio della performance è influenzata dalla selezione del campione, rappresentato da ginnaste d'élite che avevano raggiunto un livello agonistico internazionale, per questa ragione il range di variabilità nel punteggio si presenta ridotto.

Le **correlazioni** tra le caratteristiche antropometriche, le componenti del somatotipo ed il punteggio ottenuto su ciascun attrezzo e nell'All-Around sono riportate nella Tabella 7.2.

Il **Volteggio** è la specialità che presenta le maggiori correlazioni con le dimensioni corporee, infatti, è positivamente correlato con i parametri di massa muscolare come la mesomorfia ( $p=0.02$ ), la circonferenza del braccio contratto e del polpaccio (rispettivamente  $p=0.029$  e  $p=0.013$ ) e più in generale con il peso ( $p<0.03$ ). Una relazione



significativa ( $p<0.03$ ) lo collega anche ai diametri di spalle e fianchi ed alla plica soprailiaca.

I risultati delle prestazioni nelle *parallele asimmetriche* e nel *corpo libero* non appaiono in genere influenzati dalle dimensioni corporee.

I punteggi della *trave* e dell'*All-around* sono correlati significativamente alla lunghezza dell'arto superiore ( $p<0.03$ ) e il punteggio complessivo anche e negativamente all'ectomorfia ( $p<0.03$ ).

**TABELLA 7.2.** Correlazione tra le caratteristiche antropometriche, le componenti del Somatotipo ed il Punteggio ottenuto sul ciascun attrezzo e sull' All – around.

Variabili	SPECIALITA'				
	Volteggio	Parallele	Trave	Corpo Libero	All Around
Età	+0,40	+0,28	+0,32	+0,31	+0,36
Statura Totale	+0,25	+0,06	+0,01	+0,06	+0,03
Statura da Seduto	+0,32	+0,23	+0,06	+0,07	+0,10
Peso	+0,48*	+0,24	+0,10	+0,20	+0,22
Indice Schelico	-0,29	-0,45	-0,15	-0,05	-0,21
Lungh. Arto Superiore	+0,45	+0,30	+0,55*	+0,41	+0,47*
Lungh. Braccio	+0,40	+0,42	+0,24	+0,30	+0,35
Lungh. Avambraccio	+0,46	+0,29	+0,43	+0,40	+0,41
Lungh.Arto Inferiore	+0,20	-0,06	-0,02	+0,07	-0,02
Lungh. Coscia	+0,31	+0,04	+0,03	+0,09	+0,06
Lungh. Gamba	+0,09	-0,05	+0,10	+0,18	+0,04
Circonferenza Braccio Contratto	+0,54*	+0,36	+0,20	+0,29	+0,33
Circonferenza Avambraccio	+0,45	+0,07	+0,03	+0,09	+0,12
Circonferenza Polso	+0,45	+0,08	+0,05	+0,11	+0,14
Circonferenza Coscia	+0,36	+0,21	+0,05	+0,12	+0,15
Circonferenza Polpaccio	+0,55 *	+0,27	+0,16	+0,24	+0,29
Larghezza Biacromiale	+0,51*	+0,23	+0,20	+0,33	+0,32
Larghezza Bicrestiliaca	+0,63*	+0,28	+0,22	+0,30	+0,34
Larghezza Biepicondiloidea Omerale	+0,31	+0,09	+0,06	+0,13	+0,12
Larghezza Biepicondiloidea Femorale	+0,32	-0,05	-0,01	+0,00	+0,04
Plica Bicipite	+0,25	-0,02	-0,15	+0,16	+0,05
Plica Tricipite	-0,22	-0,03	-0,28	-0,21	-0,23
Plica Sottoscapolare	+0,43	+0,27	+0,17	+0,28	+0,29
Plica Soprailiaca	+0,48*	+0,19	+0,00	+0,15	+0,17
Plica al Polpaccio Mediale	+0,05	-0,08	-0,30	-0,09	-0,14
Plica al Polpaccio Laterale	+0,20	+0,15	-0,14	+0,04	+0,03
Plica alla Coscia	+0,24	+0,35	-0,02	+0,00	+0,12
Endomorfia	+0,06	+0,07	-0,21	-0,05	-0,06
Mesomorfia	+0,52*	+0,29	+0,23	+0,28	+0,37
Ectomorfia	-0,64*	-0,44	-0,30	-0,41	-0,50*

(\*)  $p<0.05$

I risultati della **Regressione Multipla Stepwise** per la variabile dipendente individuata nel punteggio ottenuto nell'**All-Around** sono schematizzati nella Tabella 7.3.

**TABELLA 7.3** Riassunto dei risultati del Modello di Regressione Multipla Stepwise per il punteggio ottenuto dalle ginnaste nella classifica All-Around.

STEP	Variabile dipendente	Variabile Indipendente	R <sup>2</sup> (*)	Variazione (**)	Significatività Modello
1	ALL-AROUND	Ectomorfia	0.24		< 0.03
2		Plica tricipitale	0.40	16 %	< 0.02
3		Circonferenza Polso	0.49	9%	<0.01
4		Diametro Omerale	0.56	7%	<0.02
5		Mesomorfia	0.63	7%	<0.01
6		Plica al Polpaccio	0.68	5%	<0.02
7		Diametro Femorale	0.73	10%	<0.02
8		Larghezza Bicrestiliaca	0.79	6%	<0.02

(\*) Variazione complessiva spiegata; (\*\*) % della variazione spiegata da ciascuna variabile indipendente

La prima variabile indipendente ad entrare significativamente nell'equazione è l'ectomorfia, che spiega il 24% della variabilità nel punteggio All-around. Con l'introduzione della seconda variabile, la plica tricipitale, il valore di R<sup>2</sup> passa da .24 a .40, e l'equazione predice con un'accuratezza del 16% più elevata la variabile dipendente. Il Modello Stepwise inserisce nell'equazione un totale 8 variabili indipendenti che nel complesso arrivano a spiegare il 79% della varianza nel punteggio complessivo sui 4 attrezzi (p<0.02).

La tabella 7.4 riassume i risultati della regressione multipla stepwise che ha come variabile dipendente il punteggio ottenuto dalle ginnaste al **Volteggio**. Le variabili indipendenti che entrano significativamente nell'equazione sono 7 in totale. Le più importanti risultano essere l'ectomorfia (primo step) che da sola spiega il 41% della variabilità nel punteggio, la plica tricipitale (secondo step) e la larghezza bicrestiliaca (terzo step) che producono un incremento significativo di R<sup>2</sup> rispettivamente del 18% e del 20% .

Il modello arriva a spiegare l'88% della varianza nel punteggio per questo attrezzo (p<0.0005).

**TABELLA 7.4** Riassunto dei risultati del Modello di Regressione Multipla Stepwise per il punteggio ottenuto dalle ginnaste nel Volteggio

					Significatività
STEP	Variabile dipendente	Variabile Indipendente	R <sup>2</sup> (*)	Variazione (**)	Modello
1	VOLTEGGIO	Ectomorfia	0.41		<0.0004
2		Plica Tricipitale	0.59	18%	<0.0001
3		Larghezza Bicrestiliaca	0.79	20%	<0.0002
4		Larghezza Biacromiale	0.80	1%	<0.0002
5		Età	0.81	1%	<0.0003
6		Indice Schelico	0.86	5%	<0.0003
7		Plica Bicipitale	0.88	2%	<0.0005
(*) Variazione complessiva spiegata; (**) % della variazione spiegata da ciascuna variabile indipendente					

Il punteggio ottenuto alle **Parallele Asimmetriche** è quello che, a differenza di altre specialità, ha bisogno di più variabili indipendenti per predire con un certo livello di significatività la varianza della variabile dipendente (Tabella 7.5).

Infatti, la prima variabile ad entrare nell'equazione è l'indice schelico, ma la percentuale di varianza spiegata da questa variabile non è significativa (<0.09).

**Tabella 7.5** Riassunto dei risultati del Modello di Regressione Multipla Stepwise per il punteggio ottenuto dalle ginnaste alle Parallele Asimmetriche

Significatività					
STEP	Variabile dipendente	Variabile Indipendente	R <sup>2</sup> (*)	Variazione (**)      Modello	
1	PARALLELE	Indice Schelico	0.15	<0.09	
2		Ectomorfia	0.24	9%	<0.10
3		Endomorfia	0.35	11%	<0.08
4		Diametro Femorale	0.42	7%	<0.08
5		Diametro Omerale	0.53	11%	<0.05
6		Mesomorfia	0.64	11%	<0.02
7		Plica Soprailiaca	0.70	6%	<0.02
9		Peso	0.87	17%	<0.003
10		Circonferenza Braccio			
		Contratto	0.90	3%	<0.004
11		Larghezza Bicrestiliaca	0.91	1%	<0.008
12		Circonferenza Coscia	0.94	3%	<0.007
13		Plica al Polpaccio	0.96	2%	<0.009
(*) Variazione complessiva spiegata; (**) % della variazione spiegata da ciascuna variabile indipendente					

Per avere un livello di significatività sufficiente a predire con accuratezza la varianza nel punteggio ottenuto dalle ginnaste, occorre inserire ancora 5 variabili indipendenti (Tabella 7.5) che porteranno complessivamente a spiegare il 53% della varianza nel punteggio. Le variabili indipendenti che in totale entrano nell'equazione sono 13 ed il modello così costruito arriva a spiegare il 96% della varianza nel punteggio alle parallele asimmetriche ( $p < 0.009$ ).

Per ciò che concerne il punteggio ottenuto dalle ginnaste alla **Trave** (Tabella 7.6) le variabili che ne spiegano la varianza sono in totale 8. Le più importanti risultano essere la lunghezza dell'arto superiore (primo step) che spiega il 31% della variabilità nel punteggio, la plica tricipitale (secondo step) e l'età (terzo step) che producono un incremento di  $R^2$  ciascuna del 4%.

**Tabella 7.6** Riassunto dei risultati del Modello di Regressione Multipla Stepwise per il punteggio ottenuto alla Trave

STEP	Variabile dipendente	Variabile Indipendente	$R^2$ (*)	Variazione (**) %	Significatività
					Modello
1	TRAVE	Lunghezza Arto Sup.	0.31		<0.01
2		Tricipite	0.35	4%	<0.02
3		Età	0.39	4%	<0.04
4		Diametro Femorale	0.44	5%	<0.06
5		Diametro Omerale	0.51	7%	<0.06
6		Plica al Polpaccio	0.55	11%	<0.08
7		Statura Totale	0.70	15%	<0.02
8		Plica al Bicipite	0.79	9%	<0.01

(\*) Variazione complessiva spiegata; (\*\*) % della variazione spiegata da ciascuna variabile indipendente

Dal quarto al sesto step, le variabili indipendenti non entrano significativamente nell'equazione, producendo un modesto incremento dei valori di  $R^2$  (da 44% a 55%). La settima e l'ottava variabile spiegano di nuovo quantità significative di varianza, tanto che il modello così costruito spiega complessivamente il 79% della varianza nel punteggio alla trave ( $p < 0.01$ ).

I risultati della Regressione Multipla Stepwise per la variabile dipendente individuata nel punteggio ottenuto al **Corpo Libero** sono riportati nella tabella 7.7. La prima variabile ad entrare nell'equazione è rappresentata dalla lunghezza dell'arto superiore ma, come per il modello riferito alle Parallele Asimmetriche, la percentuale di varianza spiegata da questa

variabile (17%) non è significativa ( $p < 0.07$ ). Con l'introduzione della seconda variabile, l'ectomorfia, l'incremento prodotto nel valore di  $R^2$  (6%) rimane ancora non significativo ( $p < 0.11$ ). Il Modello raggiunge la significatività con il terzo step, quando entra in equazione la plica tricipitale ( $p < 0.04$ ). Il software inserisce nell'equazione un totale 8 variabili indipendenti che nel complesso arrivano a spiegare il 79% della varianza nel punteggio del Corpo Libero ( $p < 0.01$ ).

**Tabella 7.7** Riassunto dei risultati del Modello di Regressione Multipla Stepwise per il punteggio ottenuto dalle ginnaste al Corpo Libero

					Significatività
STEP	Variabile dipendente	Variabile Indipendente	R <sup>2</sup> (*)	Variazione (**)	Modello
1	CORPO LIBERO	Lunghezza Arto Sup.	0.17		<0.07
2		Ectomorfia	0.23	6%	<0.11
3		Plica al Tricipite	0.31	8%	<0.04
4		Diametro Femorale	0.44	5%	<0.06
5		Diametro Omerale	0.51	7%	<0.06
6		Plica al Polpaccio	0.55	11%	<0.08
7		Statura Totale	0.70	15%	<0.02
8		Plica al Bicipite	0.79	9%	<0.01
(*) Variazione complessiva spiegata; (**) % della variazione spiegata da ciascuna variabile indipendente					

I risultati della Regressione multipla finalizzata alla costruzione di un modello che includesse soltanto le variabili più correlate con la variabile dipendente sono riportate nella tabella 7.8.

La varianza spiegata per i quattro attrezzi varia tra 31.15% del Corpo Libero e il 74.37 % del Volteggio. Oltre metà della varianza (55.75%) nel punteggio totale della performance è spiegato dalla combinazione dell'ectomorfia, della plica tricipitale, della circonferenza del polso e del diametro omerale. Il numero di variabili indipendenti che entrano nell'equazione di regressione variano da 2 per la trave a 6 per le parallele.

Tra tutte le variabili indipendenti, l'ectomorfia e la plica al tricipite risultano essere le più importanti. L'ectomorfia entra sempre e negativamente tra i primi posti nella predizione del punteggio, sia per ciò che concerne le singole specialità, ad esclusione della Trave, sia relativamente al punteggio per l'All-Around.

Anche la plica tricipitale risulta un predittore negativo per tutte le specialità, escluse le Parallele.

**TABELLA 7.8.** Modello di Regressione Multipla per il punteggio della performance nella Ginnastica Artistica

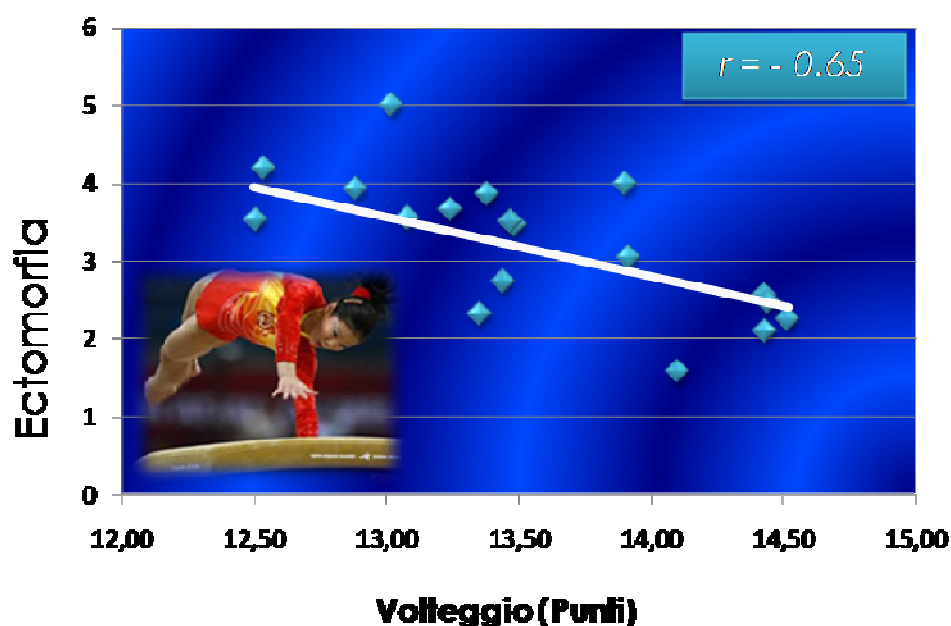
Variabile Dipendente	Intercetta	Coefficiente di Regressione	Variabili Indipendenti	R2 100 (cumulativo)
<b>Punteggio Totale</b>	103,37	-0,85	Ectomorfia	24,96
		-0,57	Plica tricipitale	40,40
		-0,41	Circ. Polso	49,52
		-0,26	Diametro Omerale	55,75
<b>Volteggio</b>	11,39	-0,60	Ectomorfia	41,12
		-0,43	Plica Tricipitale	59,16
		0,43	Largh. Bicrestiliaca	74,37
<b>Parallele</b>	38,11	-0,49	Indice Schelico	15,41
		-1,37	Ectomorfia	24,51
		-0,81	Endomorfia	35,17
		-0,90	Diametro Femorale	42,56
		1,04	Diametro Omerale	53,73
		-0,82	Mesomorfia	64,48
<b>Trave</b>	10,85	0,52	Lungh.Arto Superiore	31,37
		-0,21	Plica Tricipitale	35,56
<b>Corpo Libero</b>	13,65	0,23	Lunghezza Arto Superiore	17,51
		-0,39	Ectomorfia	23,38
		-0,31	Plica Tricipitale	31,15

## 7.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI

E' ormai consolidato il fatto che, oltre alle capacità motorie, anche la costituzione morfologica ha un impatto notevole nella determinazione di prestazioni sportive di alta qualificazione agonistica. In particolare nella Ginnastica Artistica Femminile l'importanza dei fattori morfometrici si riflette anche nei processi di selezione-reclutamento dei giovani talenti.

Dai risultati ottenuti nel presente approccio alle relazioni tra prestazione e caratteristiche fisiche emerge come il punteggio della performance sia primariamente associato negativamente con la *componente ectomorfica* del somatotipo. La correlazione negativa suggerisce che le ginnaste con valori ectomorfici inferiori hanno punteggi di performance

maggiori. La relazione, negativa su tutte e 4 le specialità, si evidenzia in modo particolare nel *Volteggio* (Grafico 7.1) e nell'*All-Around* (-0.50).



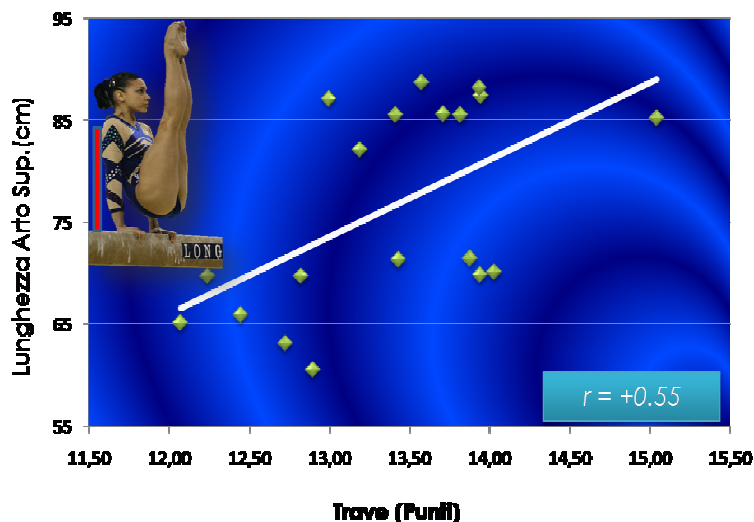
**Grafico 7.1** Correlazione tra Ectomorfia e Punteggio ottenuto al Volteggio

L'ectomorfia (che secondo il Metodo di Heath & Carter è data dalla Statura/radice cubica del Peso), esprime il rapporto tra statura e peso. Il peso, nelle ginnaste di alto livello, è costituito primariamente dalla massa ossea e muscolare, considerata la bassa percentuale di tessuto adiposo che si riscontra nel campione di ginnaste analizzato nel presente studio<sup>24</sup> ed in letteratura per questa classe di atlete (*Malina 1994, Nickols-Richardson et al., 2000; Filaire et al., 2002*). Premesso ciò, i bassi valori di ectomorfia riscontrati nel presente lavoro, esprimono principalmente un decremento del rapporto statura peso dovuto a bassi valori staturali e validi incrementi ponderali favoriti principalmente da alti valori di massa muscolare.

Altro risultato interessante è quello che emerge dalla *Lunghezza degli Arti Superiori*.

Il coefficiente di correlazione per questa variabile antropometrica e il punteggio della performance è espresso da una relazione positiva in cui gli alti punteggi sono associati con valori elevati di lunghezza dell'arto superiore (Grafico 7.2).

<sup>22</sup> Cfr. Capitolo 5 *Composizione Corporea*.



**Grafico 7.2** Correlazione tra Lunghezza Arto Superiore (cm) e Punteggio ottenuto alla Trave

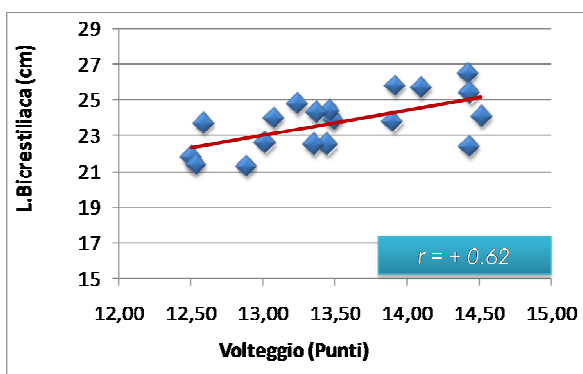
Anche le lunghezze dei segmenti dell'arto superiore (braccio ed avambraccio) sono correlati significativamente e positivamente con il punteggio totale. Ciò riflette quanto riscontrato in letteratura circa la lunghezza

degli arti superiori delle ginnaste rispetto a quelle

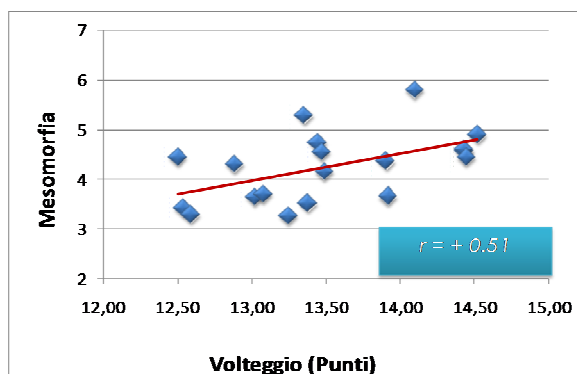
inferiori (Beunen et al., 1981; Bernink et al., 1983; Claessens 1999b; Brisson et al., 1983; Vercruyssen, 1984).

Infatti valori elevati degli arti superiori si concretizzano in un vantaggio nella performance ginnica che richiede, per l'appunto, l'esecuzione di una miriade di movimenti in appoggio ed in sospensione sugli stessi.

Infine, si sono evidenziate interessanti relazioni positive tra il punteggio ottenuto nel Volteggio, le *Larghezze Bicrestiliaca* (Grafico 7.3) e *Biacromiale* e la *componente Mesomorfica* del *Somatotipo* (Grafico 7.4). Le larghezze bicrestiliaca e biacromiale indicano la morfologia del tronco definita dalle dimensioni ossee di larghezza delle spalle e del bacino, mentre la mesomorfia è espressione della massa muscolare dell'atleta. Alti



**Grafico 7.3** Correlazione tra Larghezza Bicrestiliaca (cm) e Punteggio ottenuto al Volteggio



**Grafico 7.4** Correlazione tra Mesomorfia e Punteggio ottenuto al Volteggio

valori di questi parametri potrebbero avvantaggiare la performance in questa specialità. Dal coefficiente di correlazione si evince come le ginnaste con valori mesomorfici superiori e



larghezze bicipitali e biacromiali maggiori ottengano punteggi elevati al Volteggio. Questo dato assume ancor più rilevanza se si considera la natura della performance ginnica in questo attrezzo. Il Volteggio è infatti caratterizzato dall'esecuzione di esercizi di potenza espressi in tempi ridottissimi (4-6 secondi).

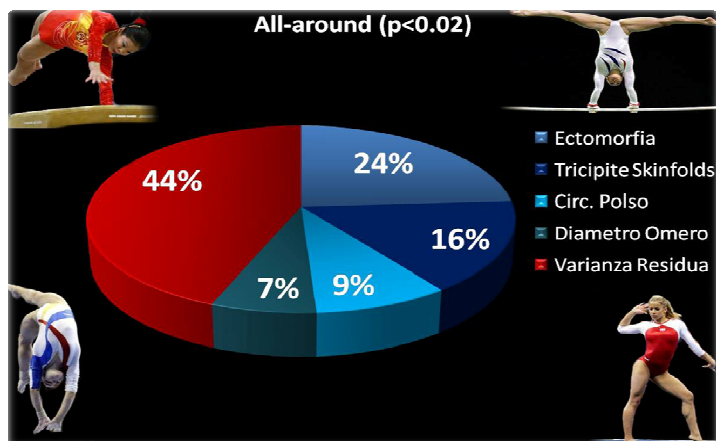
Possedere questa morfologia ossea ed una importante massa muscolare significa aumentare la stabilità ed incrementare la potenza durante le fasi propulsive di spinta/stacco effettuate sugli arti inferiori e superiori (Koh e Jenningsb, 2007). Ciò determinerebbe un'angolo ottimale d'uscita dall'attrezzo ed una maggiore permanenza del corpo in volo con la diretta conseguenza di porre la ginnasta in condizioni ideali per l'esecuzione di un maggior numero di rotazioni attorno agli assi corporei (condizioni ottimali per una performance di successo in questa specialità) (Kwon et al., 1990; Takei et al., 2003; Yeadon et al., 1998).

Sulla base di questi dati di correlazione, si è voluto tentare di verificare, malgrado il numero ridotto di soggetti esaminati, la possibilità di costruire un modello di regressione in grado di predire il successo nella performance in funzione delle caratteristiche antropometriche.

Partendo infatti da un modello di regressione globale, in cui si è forzato l'ingresso delle variabili indipendenti all'interno dell'equazione, si è giunti all'elaborazione di un modello di regressione ridotto, in cui l'apporto di ciascuna variabile indipendente alla percentuale di variabilità del punteggio spiegata, assumesse valori rilevanti.

Il *Modello* così ottenuto suggerisce che dal 15% al 74% della variabilità del punteggio nei singoli attrezzi può essere spiegata dalle caratteristiche antropometriche e dal somatotipo delle ginnaste esaminate, mentre nella specialità *All-Around* la percentuale di varianza spiegata è del 55.75% (*Grafico 7.5*). L'ectomorfia e la plica tricipitale entrano molto spesso nell'equazione per la predizione del punteggio. L'effetto negativo dell'ectomorfia suggerisce che le ginnaste analizzate nel presente studio, con un basso rapporto tra statura e peso, siano generalmente avvantaggiate nel raggiungimento di elevati punteggi di performance. *L'ectomorfia risulta essere quindi il miglior predittore* arrivando a spiegare fino al 41% della varianza nel punteggio. Allo stesso modo, l'influenza negativa sul punteggio della plica tricipitale, quella maggiormente correlata al livello globale di tessuto adiposo, indica che le ginnaste con valori elevati di questa plica ottengono punteggi inferiori. Questo risultato è stato già messo in evidenza in altri studi, anche se, le relazioni tra caratteristiche antropometriche e performance ginnica sono state analizzate soprattutto confrontando le ginnaste classificate ad alti livelli con quelle che si ponevano tra le ultime

posizioni e non tenendo in considerazione i valori dei punteggi (*Pool et al., 1969; Falls e Humphrey, 1978*). La plica tricipitale, nel presente lavoro, spiega dal 4% al 18% della varianza nel punteggio della performance.



**Grafico 7.5** Modello di Regressione per la predizione del Punteggio della Performance All-Around

Rispetto allo studio condotto da Claessens e collaboratori (1999a) si riscontrano alcune differenze per ciò che concerne le variabili antropometriche che concorrono a spiegare la varianza nel punteggio della performance. Infatti Claessens e collaboratori (1999a) individuano nell'endomorfia e nell'età cronologica i migliori

predittori del punteggio. Entrambe le variabili entrano nell'equazione di predizione molto spesso, la prima negativamente e la seconda positivamente.

Queste divergenze potrebbero esser dovute a due elementi principali, il primo relativo a fattori cronologici concernenti i periodi di rilevazione dei dati (2007 presente studio vs 1987 studio di Claessens e collaboratori) ed il secondo inerente le dimensioni campionarie (Presente Studio = n.19 soggetti vs Claessens e Collaboratori = n.201 soggetti).

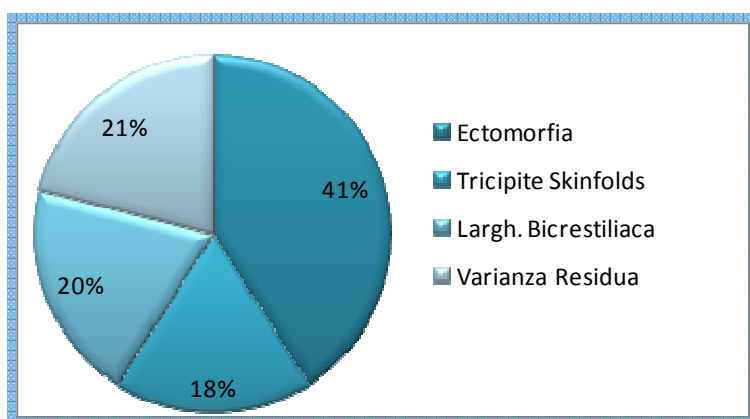
Infatti, proprio il primo fattore potrebbe contribuire in maniera determinante alla diversificazione delle variabili che entrano nel modello di regressione in quanto, come evidenziato dallo stesso Claessens (1999a), la struttura fisica delle ginnaste d'élite è andata modificandosi significativamente nel corso degli ultimi 20 anni con un trend, orientato verso pesi più leggeri e stature inferiori, pronto a rispondere alla richieste tecniche di un Regolamento Ginnico Internazionale in continua evoluzione.

Claessens e collaboratori (1999a) concludono che ci sono forti relazioni tra diverse variabili antropometriche e performance ginnica nelle ginnaste d'élite, ma le associazioni non sono sufficientemente elevate per predire il risultato della performance su base individuale.

Riassumendo, i nostri risultati indicano che il range di variabilità nel punteggio della performance è abbastanza basso. Ciò è dovuto principalmente all'omogeneità del

campione esaminato, che in termini di livelli agonistici, rappresenta l'élite della disciplina sportiva oggetto dello studio. Nonostante ciò, il punteggio ottenuto dalle ginnaste delle Squadre Nazionali Italiane durante le più importanti competizioni (2006-2007) risulta influenzato dalle caratteristiche antropometriche e somatotipiche delle stesse.

I risultati suggeriscono che, ad alti livelli di performance, il punteggio è primariamente e negativamente influenzato dalla componente ectomorfica del somatotipo. In particolare, il



**Grafico 7.6** Modello di Regressione per la predizione del Punteggio della Performance al Volteggio

punteggio ottenuto nella Performance al Volteggio è quello che, più di altre specialità, viene influenzato dalle variabili antropometriche e dal Somatotipo. I risultati ottenuti dal modello di regressione per questa specialità (Grafico 7.6) indicano che dal 41% al 74%

della varianza del punteggio può essere spiegata dalla combinazione dell'ectomorfia (41%), della larghezza bicrestiliaca (20%) e della plica tricipitale (18%)

**In conclusione**, sulla base dei risultati ottenuti, nel campione di ginnaste esaminato esiste sicuramente una *forte relazione* tra diverse *variabili antropometriche* e *punteggio della performance ginnica*.



*Accrescimento in Ginnaste Militanti in differenti livelli agonistici*



## 8. ACCRESCIMENTO IN GINNASTE MILITANTI IN DIFFERENTI LIVELLI AGONISTICI

### 8.1 INTRODUZIONE

Nel corso degli ultimi anni si è assistito ad un importante dibattito in merito agli allenamenti ginnici di alta specializzazione, effettuati durante l'infanzia e l'adolescenza, come fattore che potesse pregiudicare la normale crescita delle giovani ginnaste (*Baxter-Jones et al., 2003; Caine et al., 2001, 2003; Daly et al., 2002*). Diversi studi hanno evidenziato che gli allenamenti ad elevata intensità nella ginnastica artistica, quando associati a diete con basso contenuto calorico, possano alterare i normali ritmi di crescita e di maturazione in alcune ginnaste (*Bass et al., 2000; Lindholm et al., 1994; Theintz et al., 1993*). Tuttavia, non è stato ancora dimostrato un rapporto di causa-effetto tra l'elevato regime di allenamento nella ginnastica artistica ed un'alterazione dell'accrescimento. La causa di tale mancanza è da attribuire alla difficoltà di isolare gli effetti dei fattori ambientali dai pattern genetici di crescita individuali che determinano i ritmi di accrescimento e di maturazione (*Caine et al., 2003*).

I rigorosi criteri di selezione nella ginnastica artistica tendono ad identificare i soggetti con una bassa statura familiare e con un ritardo costituzionale nella crescita (*Bass et al., 2000; Claessens, 1999b; Damsgaard et al., 2000; Peltenburg et al., 1984b*).

In questo modo, il rallentamento nell'accrescimento, osservato in alcune ginnaste d'élite, potrebbe essere coerente con i pattern di crescita osservati nelle ragazze non sportive caratterizzate da un "normale" ritardo nella maturazione (*Baxter-Jones et al., 2003; Malina et al., 1999*). Tuttavia, la questione che dovrebbe essere affrontata non è se le ginnaste hanno una bassa statura o una maturazione tardiva, ma piuttosto se la partecipazione ad intensi allenamenti e competizioni possa alterare il normale ritmo di crescita e di maturazione. In altre parole, la questione è se la maturazione e l'accrescimento delle ginnaste sarebbero stati analoghi se le stesse non avessero intrapreso l'elevato regime di allenamenti e non avessero partecipato alle competizioni di alto livello.

In considerazione di ciò, sorprende come la maggior parte dell'interesse per gli effetti dell'allenamento ginnico, si sia limitato allo studio delle ginnaste d'élite che intraprendono l'attività in età molto giovane e che eseguono un allenamento superiore alle 20 ore per settimana per dodici mesi all'anno.

A tal proposito è utile evidenziare come negli Stati Uniti, solo circa il 4% di tutte le ginnaste agoniste sono coinvolte in allenamenti di livello avanzato e fanno parte delle squadre d'élite (*USA Gymnastics Stats of 2003*). Molte altre atlete di talento, invece, continuano ad allenarsi e a competere durante tutta l'infanzia e l'adolescenza. Ciononostante, ci sono poche informazioni su come l'accrescimento e la maturazione possano essere diversamente influenzati dall'allenamento nelle ginnaste agoniste che non raggiungono le Squadre Nazionali, ma comunque si allenano e competono per le squadre di livello intermedio.

L'aspetto che s'intende trattare in questo capitolo è appunto quello della possibile influenza dell'allenamento, in ginnaste agoniste di diverso livello agonistico, sulla Statura, sulla Composizione Corporea e sull'Accrescimento.

A tal fine si sono analizzate la frequenza della bassa statura (Statura per l'età al di sotto del terzo percentile), dello stato di sottopeso (BMI per l'età al di sotto del quinto percentile) e dell'incidenza di crescita modesta (Velocità di Crescita inferiore a 4.5 cm all'anno).

## 8.2 MATERIALI E MOTODI

In questo caso sono state prese in considerazione **26 Ginnaste agoniste** di età compresa tra i 7 e i 14 anni della *Regione Sardegna* (N=10) e della *Squadra Nazionale Giovanile Italiana* (N=16) (Tabella 8.1). Le atlete della Regione Sardegna avevano partecipato a competizioni ufficiali di livello regionale, interregionale e nazionale con risultati modesti, mentre le ginnaste della Squadra Nazionale Giovanile rappresentavano l'élite della popolazione ginnica italiana per la propria categoria.

Alla prima rilevazione, le ginnaste della Regione Sardegna si allenavano in media  $12.65 \pm 2.94$  ore alla settimana (media  $\pm$  SD; range 10-16 ore/sett.) ed appartenevano alla categoria Allieve, in accordo con i livelli competitivi della Federazione Ginnastica d'Italia (2006). Anche le ginnaste della Squadra Nazionale Giovanile facevano parte della medesima categoria (Allieve), ma si allenavano in media  $26.09 \pm 6.48$  ore alla settimana (media  $\pm$  SD; range 17.5-36 ore/sett.).

Il volume di allenamento, in termini di un numero di ore settimanali, si presentava quindi significativamente più elevato nelle atlete di livello Nazionale rispetto alle ginnaste di livello Regionale ( $p < 0.05$ ).



**TABELLA 8.1** Caratteristiche antropometriche, età, ed allenamento nelle Ginnaste Nazionali e Regionali.

Caratteristiche	Ginnaste Regionali (N=10)	Ginnaste Nazionali (N=16)
Età (anni)	9.15 ± 1.75	11 ± 1.09
Statura (cm)	128.53 ± 7.70	135.15 ± 7.69
Statura da Seduto (cm)	69.63 ± 3.19	70.69 ± 3.93
Lunghezza Arto Inferiore (cm)	58.90 ± 4.93	64.46 ± 4.23
Peso (Kg)	28.15 ± 5.98	30.27 ± 4.15
Indice Schelico	84.52 ± 4.63	91.20 ± 3.78
Indice Acromio-iliaco	69.85 ± 3.84*	67.05 ± 6.53*
Somma delle Pliche (mm)	35.52 ± 5.09***	25.40 ± 3.97***
BMI (Kg/m <sup>2</sup> )	16.84 ± 1.94	16.51 ± 0.99
FAT (%)	13.85 ± 1.17***	11.23 ± 0.98***
FFM (Kg)	24.90 ± 4.98	28.06 ± 3.66
Età al Menarca	-----	-----
Endomorfia	2.57 ± 0.37***	1.60 ± 0.34***
Mesomorfia	4.71 ± 0.62	4.57 ± 0.70
Ectomorfia	2.45 ± 0.84	3.18 ± 0.86
Allenamento (h*7gg)	12.65 ± 2.94**	26.65 ± 6.93**
Anni di Pratica Attività	3.75 ± 1.81	4.5 ± 1.65

La tabella schematizza la media dei dati (SD), ma la significatività dei test del confronto tra i due gruppi di atlete deriva dall'analisi della covarianza (aggiustata per l'età). \* P<0.05; \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.0001).

Le misure antropometriche sono state rilevate, in due momenti a dodici mesi l'uno dall'altro, su tutte le ginnaste.

Il protocollo di *valutazione antropometrica* adottato è illustrato nel Capitolo 5 della presente trattazione.

Le componenti del *somatotipo* (endomorfia, mesomorfia ed ectomorfia) sono state calcolate in accordo con le equazioni raccomandate da Heath & Carter (Carter, 1980; 1990).

La *composizione corporea* è stata calcolata come descritto nel Capitolo 5 del presente lavoro. L'Indice di Massa Corporea (BMI) si è ricavato utilizzando la seguente formula: *Peso (Kg) / Statura (m<sup>2</sup>)*.

Il rilevamento dell'*età al menarca* è stata valutata con il metodo dello *status quo*.

**Analisi Statistica.** Metodi statistici di base sono stati utilizzati per il calcolo dei valori medi, minimo e massimo e delle deviazioni standard (SD).

L'analisi della covarianza (ANCOVA) è stata utilizzata per testare le differenze tra i gruppi (fattori) nelle variabili dipendenti, tenendo sotto controllo l'effetto dell'età (covariata). I risultati sono stati analizzati in modalità univariata mediante il Modello Generale Lineare (GLM). Il T- test per dati appaiati è stato impiegato per valutare le differenze dentro i gruppi nelle variabili esaminate durante lo studio longitudinale breve.

Il livello di significatività è stato stabilito per valori di  $P \leq 0.05$ .

La Statura, il Peso ed il BMI sono stati confrontati con i dati normativi in rapporto per la popolazione Italiana (Cacciari et al., 2006). Le Tabelle percentile (Cacciari et al., 2006) per la Statura ed il BMI sono state utilizzate per stimare la prevalenza della bassa statura e dello stato di sottopeso in accordo con le raccomandazioni del WHO Expert Committee (World Health Organization, 1995).

La bassa statura è stata definita come la Statura in rapporto all'età al di sotto del 3° percentile, in riferimento alla popolazione italiana (Cacciari et al., 2006).

Il sottopeso è stato stabilito per mezzo del BMI in rapporto all'età al di sotto del 5° percentile.

Il Test del Chi-Quadrato è stato utilizzato per comparare la percentuale delle ginnaste della Regione Sardegna e della Squadra Nazionale Giovanile con bassa statura.

Il rallentamento nella crescita è stato definito come velocità d'incremento della Statura al di sotto dei 4.5 cm all'anno (Lifshitz e Cervantes, 1996).

Tutte le analisi sono state condotte mediante l'utilizzo del software STATISTICA (Versione 7).

## **8.3 RISULTATI**

### **8.3.1 Studio Trasversale: Comparazione dei dati**

Le misure nella prima sessione di raccolta dati delle 26 ginnaste appartenenti ai due livelli agonistici sono riportate nella tabella 8.1. Le ginnaste della Squadra Nazionale Giovanile risultano in media più grandi di 1.8 anni rispetto alle ginnaste della Regione Sardegna ( $p < 0.05$ ).

Dopo aver aggiustato i dati per l'età, mediante l'analisi della covarianza, sono risultate differenze significative solo per l'indice acromio-iliaco ( $p = 0.02$ ), per la somma delle 5 pliche cutanee ( $p = 0.000001$ ), per l'endomorfia ( $p = 0.000001$ ) e per la percentuale di massa

grassa ( $p=0.000001$ ). La *somma delle 5 pliche*, la percentuale di *massa grassa* e l'*endomorfia* assumono valori significativamente più elevati nelle ginnaste della Regione Sardegna, mentre l'*indice acromio-iliaco* si presenta inferiore nelle Ginnaste della Squadra Nazionale Giovanile. Non si sono invece riscontrate differenze significative tra i due gruppi per la *statura*, per la *massa magra* e per la *componente mesomorfica* del somatotipo. La statura ed il peso delle ginnaste appartenenti ad entrambi i livelli agonistici risultano inferiori rispetto alla media della popolazione italiana non-sportiva di pari età (Cacciari *et al.*, 2006). Le ginnaste Nazionali si localizzano al 10° percentile per il peso e la statura in rapporto all'età, mentre le ginnaste Regionali hanno una statura che si colloca tra il 10° ed il 25° percentile ed un peso localizzato tra il 25° ed il 50° percentile in rapporto all'età.

Nessuna delle atlete esaminate aveva avuto la comparsa del menarca.

### **8.3.2 Studio Longitudinale breve: Comparazione dei dati**

Le variabili delle 26 ginnaste appartenenti ai due livelli agonistici, misurate a distanza di 12 mesi dalla data della prima rilevazione, sono riportate in tabella 8.2.

Dopo aver aggiustato i dati per l'età, si sono riscontrate differenze significative tra i due gruppi solo per i parametri relativi alla massa grassa. Le ginnaste della Regionali presentano infatti valori significativamente più elevati per la *componente endomorfica* del somatotipo ( $p=0.00001$ ) per la *somma delle 5 pliche* ( $p=0.0001$ ) e per la percentuale di *massa grassa* ( $p=0.00001$ ), rispetto alle ginnaste della Nazionali.

Nessuna differenza significativa tra i due gruppi di atlete è emersa per l'*indice acromio-iliaco*, per la statura e per gli altri parametri antropometrici.

Le ginnaste Regionali mostrano una *velocità di crescita per la statura* che rientra nei limiti inferiori del range di normalità (rispettivamente 5.06 cm/anno), mentre le ginnaste Nazionali presentano una lieve riduzione della velocità di crescita (4.2 cm/anno), che scende mediamente al sotto dei 4.5 cm/anno.

L'incremento della *statura da seduto*, si presenta superiore nelle ginnaste Nazionali rispetto alle Regionali (rispettivamente 3.4% vs 1.8%), viceversa la *lunghezza dell'arto inferiore* risulta aumentata maggiormente nelle ginnaste Regionali (6.5%) rispetto alle Nazionali (2.8%) (Grafico 8.1).

**Tabella 8.2** Caratteristiche antropometriche, età ed allenamento nelle Ginnaste Nazionali e Regionali al termine dello studio.

Caratteristiche	Ginnaste Regionali (N=10)	Ginnaste Nazionali (N=16)
Età (anni)	10.15 ± 1.76	11.98 ± 1.09
Statura (cm)	133.59 ± 8.11	139.35 ± 8.18
Statura da Seduto (cm)	70.87 ± 2.96	73.10 ± 4.16
Lunghezza Arto Inferiore (cm)	62.72 ± 5.48	66.25 ± 3.90
Peso (Kg)	31.45 ± 7.24	33.58 ± 5.09
Indice Schelico	88.39 ± 5.14	90.70 ± 3.08
Indice Acromio-iliaco	68.92 ± 1.57	70.13 ± 7.05
Somma delle 5 Pliche (mm)	37.80 ± 10.35**	28.31 ± 5.54**
BMI (Kg/m <sup>2</sup> )	17.36 ± 2.07	17.21 ± 1.15
FAT (%)	15.28 ± 2.65***	12.13 ± 1.19***
FFM (Kg)	26.48 ± 5.44	29.48 ± 4.30
Età al Menarca	-----	-----
Endomorfia	2.83 ± 0.66***	1.82 ± 0.37***
Mesomorfia	4.38 ± 0.69	4.69 ± 0.69
Ectomorfia	2.52 ± 0.69	3.08 ± 0.86
Allenamento (h*7gg)	14.45 ± 1.83**	26.09 ± 6.48**

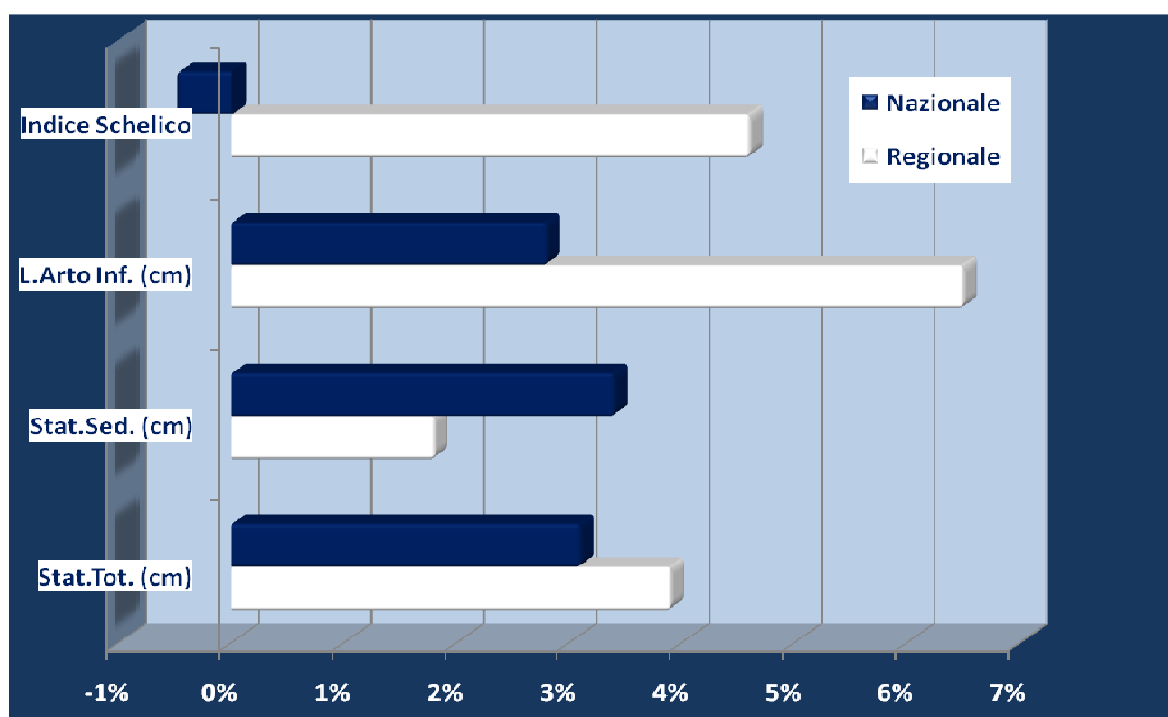
La tabella schematizza la media dei dati (SD), ma la significatività dei test del confronto tra i due gruppi di atlete deriva dall'analisi della covarianza (aggiustata per l'età). \* P<0.05; \*\* P≤0.01, \*\*\* P≤0.0001).

Di conseguenza, i valori dell'*indice schelico* presentano una riduzione dello 0.5% nelle ginnaste Nazionali ed un aumento del 4.6% nelle atlete Regionali. (Grafico 8.1).

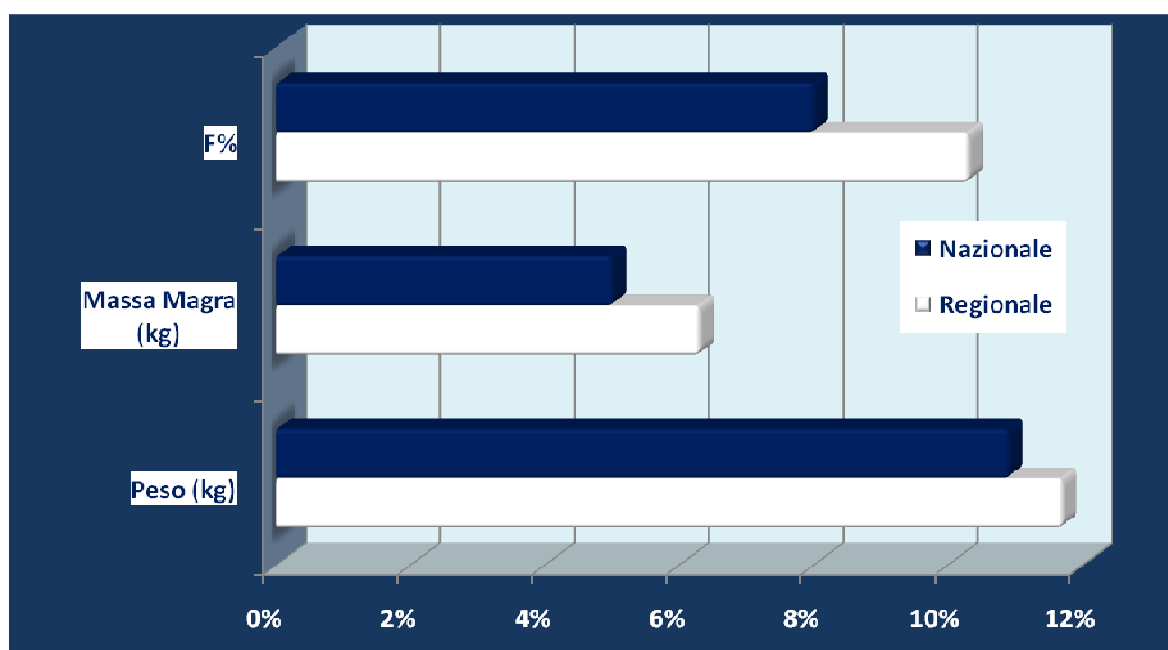
Le ginnaste Nazionali si localizzano sempre al 10° percentile per il *peso*, mentre la *statura* si colloca al 5° percentile. In media, le ginnaste Regionali stabilizzano la Statura tra il 10° ed il 25° percentile ed il peso si conferma tra il 25° ed il 50° percentile in rapporto all'età.

Nessuna delle ginnaste esaminate era sviluppata.

Come si evince dal Grafico 8.2, le ginnaste Regionali hanno un aumento annuo della percentuale di *massa grassa* e di *massa magra* (Kg) rispettivamente del 2.3% e dell'1.2% più elevati rispetto alle ginnaste Nazionali (p<0.05). Anche il peso incrementa dello 0.7% in più nelle ginnaste Regionali rispetto alle Nazionali (rispettivamente 11.72% vs 10.93%).

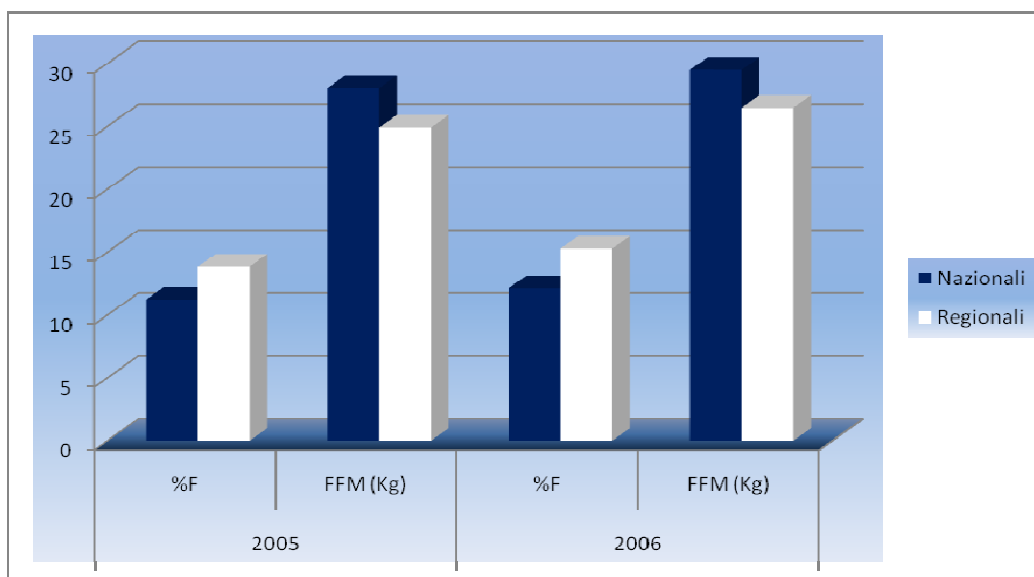


**Grafico 8.1** Variazione % annua della Statura Totale (cm), Statura da Seduto (cm), Lunghezza dell'Arto Inferiore (cm) e dell'Indice Schelico nei due gruppi di ginnaste Regionali e Nazionali.



**Grafico 8.2** Variazioni % annue della Composizione Corporea e del Peso (Kg) nei due gruppi di ginnaste Regionali e Nazionali.

Il Grafico 8.3 rappresenta la composizione corporea nelle ginnaste nel corso delle due rilevazioni.



**Grafico 8.3** Composizione Corporea nei due gruppi di ginnaste Regionali e Nazionali nel corso delle due rilevazioni.

Infine, mentre le ginnaste Nazionali hanno mantenuto stabile il volume di allenamento (ore/settimana) durante l'anno, le atlete Regionali hanno incrementato il numero di ore per settimana del 14.2% rispetto all'anno precedente. La differenza nel numero di ore di allenamento per settimana continua ad essere significativamente superiore nelle ginnaste Nazionali rispetto a quelle Regionali (rispettivamente 14.45 h/sett vs 26.09 h/sett).

### 8.3.3 Frequenza della Bassa Statura e dell'incidenza di crescita modesta tra le ginnaste di livello Regionale e Nazionale.

**Studio Trasversale.** Alla prima rilevazione, il 34.61% (9 su 26) di tutte le ginnaste esaminate (Regionali e Nazionali) possono essere classificate come soggetti con una bassa statura (età per statura al di sotto del 3° percentile) (Cacciari *et al.*, 2006). In relazione a questa categorizzazione, si riscontrano però alcune differenze, anche se non significative ( $\chi^2=1.53$ ;  $p>0.05$ ), nelle frequenze percentuali tra i due livelli agonistici (Grafico 8.4). Infatti, 7 su 16 ginnaste Nazionali rispetto a 2 su 10 ginnaste Regionali rientrano nel range di bassa statura (47.75% vs 20%).

Dieci delle ventisei ginnaste esaminate (38.46%), di cui nove Nazionali (56.25%) ed una Regionale (10%) ( $\chi^2 = 5.56$ ;  $p < 0.05$ ), presentano un peso corporeo che scende al di sotto del quinto percentile in relazione all'età.

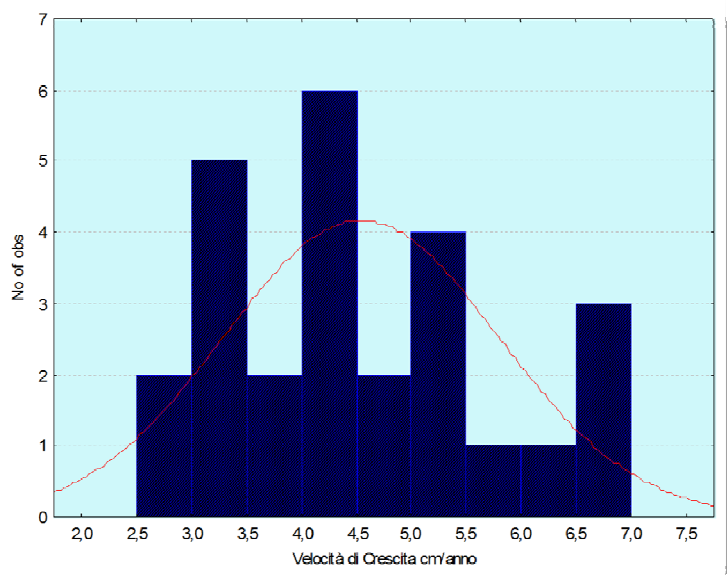
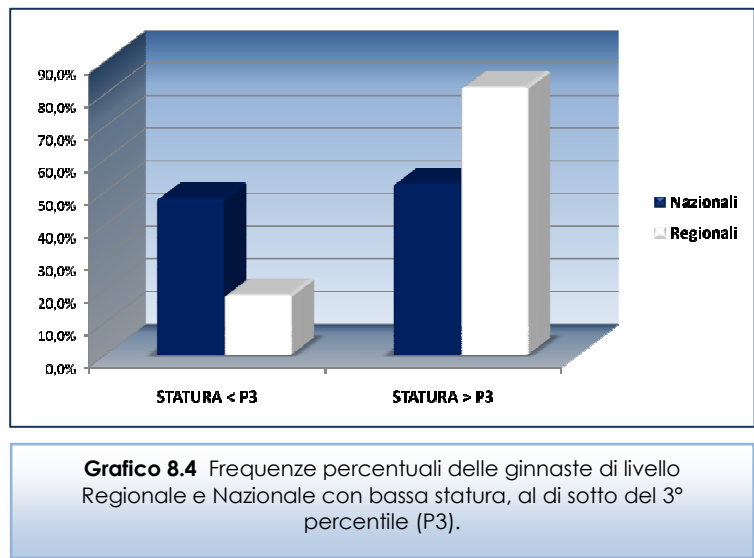
Ciononostante, la frequenza di sottopeso calcolata in base al BMI al di sotto del 5° percentile è ridotta (11.5%; 3 su 26 ginnaste).

La distribuzione delle frequenze relative alla Velocità di Crescita per la Statura nel gruppo di ginnaste esaminato ( $n=26$ ) è rappresentata nel Grafico 8.5. Il risultato del Test del Chi-Quadrato condotto sulle

26 ginnaste seguite longitudinalmente, indica una differenza significativa ( $\chi^2 = 5.10$ ;  $p < 0.005$ ) nella proporzione delle atlete, nei due livelli agonistici, che manifestano una riduzione nella velocità di crescita (velocità di crescita inferiore a 4.50 cm/anno): 75% Nazionali (12 su 16) e 30% Regionali (3 su 10).

Nelle ginnaste con riduzione dell'accrescimento, la media

della velocità di crescita risulta di  $3.61 \pm 0.54$  cm/anno nelle ginnaste Nazionali e  $3.87 \pm 0.58$  cm/anno nelle atlete Regionali. Nelle rimanenti ginnaste, la media della velocità di crescita risulta essere di  $5.98 \pm 0.75$  cm/anno nelle atlete Nazionali e di  $5.57 \pm 0.96$  cm/anno nelle ginnaste Regionali. Le ginnaste che presentano una velocità di crescita inferiore ai 4.5 cm/anno sono quelle che, alla prima rilevazione, venivano classificate come soggetti con bassa statura (al di sotto del 3° percentile in rapporto all'età).



## 8.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI

I risultati evidenziati nel presente capitolo indicano che, in generale ed a prescindere dal livello agonistico, vi è una tendenza alla bassa statura ed a una diminuzione della velocità di crescita (velocità di crescita per la statura al di sotto 4.5cm/anno) nel campione di ginnaste esaminato.

In particolare, le ginnaste d'élite (gruppo Nazionale) mostrano una diminuzione nella **velocità di crescita per la statura** significativamente maggiore rispetto alle ginnaste di livello agonistico inferiore (gruppo Regionale).

L'analisi della percentuale di crescita individuale ha rivelato infatti un'alta frequenza (75%) di alterazione nella crescita (velocità di crescita per la Statura al di sotto di 4,5 cm l'anno) nel gruppo di ginnaste Nazionali rispetto alle ginnaste Regionali (30%).

La tendenza alla diminuzione della velocità di crescita per la statura, osservata nel campione esaminato, rientra nei risultati degli studi che suggeriscono, per le ginnaste d'élite, un modello auxologico di crescita lenta e maturazione ritardata (*Bass et al., 2000; Theintz et al., 1993; Ziemilska 1985; Zonderland et al., 1997*).

Tale aspetto è particolarmente evidente nelle ginnaste di livello d'élite. Rispetto alla frequenza totale delle alterazioni staturali da noi osservate nel 57.69% delle ginnaste, ricordiamo che l'unico studio che si è occupato dell'argomento (*Daly et al., 2005*) ha messo in evidenza che 10 su 41 ginnaste seguite longitudinalmente avevano una statura, sia all'inizio dell'indagine che dopo 12 mesi, al di sotto del 3P. Inoltre, lo stesso studio (*Daly et al., 2005*), indica un'alta frequenza (35%) di alterazione della velocità di crescita (velocità di crescita per la Statura al di sotto di 4,5 cm/anno) in entrambi i livelli, intermedio ed avanzato, di ginnaste esaminate.

Altri studi longitudinali a breve termine condotti su ginnaste d'élite, hanno riportato una diminuzione della velocità di crescita con intensi allenamenti durante la pubertà (*Bass et al., 2000; Theintz et al., 1993*). Alcuni autori hanno osservato, durante periodi di riduzione dell'allenamento (*Lindholm et al., 1994; Leglise, 1998; Olympic Gymnastics Controversy, 1996*) o nei mesi successivi al ritiro delle ginnaste dall'attività (*Bass, 2000; Bass et al., 2000; Costantini, 1997; Costantini et al., 1997; Tveit-Milligan et al., 1993*) un aumento della velocità di crescita, fornendo ulteriori evidenze di come l'accrescimento potrebbe essere influenzato dall'allenamento.

In uno studio semi-longitudinale condotto su un gruppo di ginnaste britanniche di età compresa tra gli 8 e i 16 anni, seguite per 3 anni, si è riscontrata una statura al di sotto della



media relativa agli standard di riferimento inglesi. All'età di 17 anni, però, si riportava entro il range di riferimento per la popolazione non-sportiva (*Baxter Jones and Helms, 1996*)*DATI*. Questo risultato suggerisce come le ginnaste sperimentino una situazione di ritardo nell'accrescimento a cui fa seguito una successiva stabilizzazione verso i valori normali. Sono tuttavia necessari nuovi studi in quanto le evidenze, circa il raggiungimento della "normale" statura da parte delle ginnaste dopo il ritiro dall'attività, non sono conclusive (*Bass, 2000; Bass et al., 2000; Lindholm et al., 1995; Costantini, 1997; Costantini et al., 1997; Tveit-Milligan et al., 1993*).

Un altro aspetto che si deve tenere in considerazione è che nel presente studio le ginnaste Nazionali presentano una **percentuale di massa grassa**, sia alla prima rilevazione (11.23%) che nei 12 mesi successivi (12.13%), significativamente minore rispetto alle colleghe di livello agonistico inferiore (prima rilevazione=13.85%; 12 mesi successivi=15.28%).

Anche la *velocità di crescita per la massa grassa e per la massa magra*, risulta inferiore nelle ginnaste Nazionali rispetto alle Regionali, nonostante queste ultime abbiano di per sé una percentuale di massa grassa significativamente superiore.

Inoltre, la proporzione di ginnaste nazionali e regionali con il **peso** in rapporto all'età sotto al 5P (Livello Nazionale 9 su 16; Livello Regionale 1 su 10) risulta significativamente diversa.

Evidenziamo, infatti, in letteratura che un adeguato aumento del peso e del grasso corporeo sono essenziali per la normale crescita (*Preece and Baines, 1978*). E' noto, infatti, che una percentuale di grasso minima risulta essere necessaria per la funzione riproduttiva, tanto che una perdita di grasso eccessiva conduce generalmente ad amenorrea secondaria.

In considerazione di ciò, è possibile che la maggiore percentuale di attenuazione della crescita nelle ginnaste di livello avanzato possa essere ricondotta in parte ad un basso peso corporeo associato ad un bilancio energetico negativo. Sebbene in questo studio la totale prevalenza del sottopeso (basato sul BMI per l'età sotto il 5° percentile) fosse molto bassa (4,4% delle ginnaste), in altri lavori è stato dimostrato che le ginnaste d'élite hanno in media un apporto energetico carente di 275-1200 Kcal rispetto ai valori nazionali raccomandati (*Caine et al., 2001*).

Altri risultati riportano una restrizione calorica nelle ginnaste di livello avanzato durante l'adolescenza, un periodo che può essere particolarmente sensibile ai fattori nutrizionali (*Caine et al., 2001*).

Nonostante nel presente lavoro non sia stata considerata la dieta, il basso peso corporeo delle ginnaste Nazionali (in media al 10P) e la loro bassa percentuale di massa grassa

potrebbero riflettere un bilancio energetico negativo, il quale, come è noto, è associato ad una ridotta velocità di crescita, una ritardata maturazione ed una bassa concentrazione nel siero dei livelli di IGF-1<sup>25</sup> (*Bass et al., 2000; Jahreis et al., 1991*).

Un supporto a questa ipotesi lo riscontra in letteratura in diversi lavori condotti su gemelli (*Costantini et al., 1997; Tveit-Milligan et al., 1993*). In particolare, lo studio di Costantini e collaboratori (1997) svolto su una coppia di sorelle gemelle omozigote evidenzia come la loro curva di crescita, simile nel peso e nella statura dalla nascita fino all'età di 11 anni, diverga ad un certo punto della loro vita. Entrambe le gemelle iniziarono a praticare ginnastica all'età di sei anni. La gemella A continuò la sua carriera ginnica ed, all'età di 10 anni, si trasferì alla scuola per atleti d'élite. Si allenava per 25 ore alla settimana ed era soggetta ad una dieta a basso contenuto calorico. La gemella B, praticò ginnastica per tre anni ed, all'età di 9 anni, andò a giocare a Basketball, effettuando un allenamento della durata di 6-8 ore alla settimana e senza restrizioni caloriche. All'età di 12 anni, la gemella A risultava avere una percentuale di massa grassa significativamente inferiore rispetto alla sorella gemella (rispettivamente 8% vs 17%) ed una statura decisamente più bassa. Inoltre, a differenza della sorella, la gemella A, all'età di 12 anni, non aveva avuto la comparsa del menarca. Questo studio sembra indicare che l'intenso allenamento unito ad una restrizione calorica, siano responsabili delle differenze tra le due gemelle, che si realizzano probabilmente per mezzo dell'inibizione dell'asse ipotalamico-pituitario-gonadico (*Costantini et al., 1997*).

Una delle difficoltà che s'incontrano nell'interpretazione dei dati trasversali e longitudinali è rappresentata dal fatto che non tutte le ginnaste sembrano possedere lo stesso rischio di riduzione nella crescita e ritardata maturazione. I dati di gruppo, infatti, intendono descrivere la media dei pattern di crescita nelle ginnaste, mascherando gli individui con aumentato rischio o che vivono una situazione di alterazioni della crescita (*Caine et al., 2003; Daly et al., 2002*).

Nel campione qui esaminato, si è riscontrato che il 75% delle ginnaste Nazionali ed il 30% delle ginnaste Regionali, esprimono una crescita alterata (velocità di crescita staturale inferiore a 4,5 cm/anno) durante i 12 mesi successivi alla prima rilevazione.

---

<sup>25</sup> Il fattore di crescita insulino simile (IGF-1 insuline-like growth factor), conosciuto anche con il nome di somatomedina, è un ormone di natura proteica con una struttura molecolare simile a quella dell'insulina. L'IGF-1 riveste un ruolo importantissimo nei processi di crescita del bambino e mantiene i suoi effetti anabolici anche in età adulta.

Questa percentuale è notevolmente più elevata di quella tipicamente osservata nei coetanei non-sportivi di pari età. Per esempio, Lindsay e collaboratori (1994) seguirono più di 79.000 bambini e riportarono che solo lo 0,7% aveva una percentuale di crescita minore di 5 cm all'anno.

Sebbene il numero delle ginnaste analizzate nel presente studio sia relativamente piccolo, i risultati ottenuti sostengono l'ipotesi che gli allenamenti ginnici possano essere associati ad una temporanea riduzione della crescita, in una buona percentuale di ginnaste d'élite ed in alcune ginnaste di livello agonistico inferiore.

Anche se i risultati non consentono di dimostrare un nesso di casualità tra allenamento ed alterazione nella crescita, accettare che la riduzione della velocità di crescita sia dovuta semplicemente alla selezione per soggetti con una "normale" ritardata maturazione e/o fattori famigliari può mascherare importanti variazioni che dovrebbero, viceversa, essere sottoposte a verifica.

La letteratura riconosce la difficoltà di stabilire un nesso di casualità tra allenamento ginnico, riduzione della velocità di crescita e ritardata maturazione, dovuta principalmente alla complessa interazione tra fattori genetici e ambientali.

Ciononostante, è molto probabile che il rigoroso criterio di selezione nella ginnastica possa essere un fattore d'incidenza nelle basse stature e nella ritardata maturazione delle atlete, ma non si conosce se i fattori ambientali contribuiscano ad alterazioni della crescita in alcune ginnaste.

I risultati degli studi di coorte presenti in letteratura, condotti su gruppi di ginnaste, indicano che:

- a) le ginnaste, prima di essere selezionate per la pratica dell'attività, sono più basse delle coetanee che praticano differenti sport competitivi (*Damsgaard et al., 2000; Peltenburg et al., 1984b*);
- b) le ginnaste di alto livello sono più basse delle ginnaste di livello agonistico inferiore, prima dell'inizio della pratica ginnica (*Peltenburg et al., 1984b; Tanghe et al., 1996*).
- c) i genitori delle ginnaste appartenenti alle Squadre d'élite hanno in media una statura inferiore rispetto agli standard di riferimento (*Peltenburg et al., 1984b*).

Tra i limiti del presente lavoro vi è la tipologia del disegno sperimentale adottato, rappresentato da uno studio longitudinale a breve termine, con solo due rilevazioni che non consentono di ottenere una adeguata cinetica per la crescita della statura e del peso.

Un altro limite è rappresentato dal fatto che non sono state misurate le stature dei genitori delle ginnaste e quindi non è stato possibile fornire una stima della statura da adulto, né si è potuto determinare se la bassa statura e la riduzione della velocità di crescita fossero di origine familiare.

***In conclusione***, nel presente studio si è riscontrato che le ginnaste di entrambi i livelli agonistici, Regionale e Nazionale, tendono ad esibire una bassa statura con un rallentamento della velocità di crescita (velocità di crescita per la statura inferiore ai 4.5 cm/anno) simile a quello delle ginnaste aventi scarsa, normale e lenta maturazione.

Tuttavia, l'alta frequenza di alterazione nella crescita in entrambi i gruppi di ginnaste, con particolare riferimento alle ginnaste Nazionali, indica che una prolungata partecipazione agli allenamenti ed alle competizioni di ginnastica può alterare il normale pattern di crescita temporale in alcune, ma non in tutte, le ginnaste a prescindere dal loro livello competitivo.

Inoltre, le alterazioni sopra descritte si presentano in maniera più o meno marcata in funzione del volume di allenamento a cui sono sottoposte le ginnaste.

Anche se nel presente studio non è stato possibile determinare il meccanismo che contribuisce all'alterazione della normale velocità di crescita, è consigliabile che qualsiasi ginnasta, la cui statura sia al di sotto del 5° percentile o che presenti un ritardo nella crescita (con una velocità minore di 4.5 cm/anno), venga sottoposta a valutazioni per individuare eventuali patologie.

Sono pertanto necessari ulteriori studi longitudinali, estesi dall'infanzia all'adolescenza, che considerino contemporaneamente i fattori genetici, nutrizionali, metabolici, endocrini, il carico di allenamento e prendano di riferimento appropriati gruppi di controllo formati da soggetti con scarsa, normale e ritardata maturazione. Ciò al fine di poter determinare se gli allenamenti della ginnastica artistica possano, in se stessi, alterare il ritmo, il tempo e le percentuali di crescita e maturazione nelle giovani atlete.

***Polimorfismo del gene ACE in ginnasti d'elite***



## **9. POLIMORFISMO DEL GENE ACE IN GINNASTI D'ELITE**

### **9.1 INTRODUZIONE**

Nella scienza dello sport, è ormai riconosciuto il fatto che l'acquisizione dello status di performance d'élite comporta l'interazione tra molteplici fattori ambientali e genetici. (*Myburgh, 2003*).

I meccanismi che regolano lo sviluppo ed il mantenimento di un elevato livello di abilità atletiche sono stati studiati, ma la loro associazione genetica non risulta di facile comprensione. Inoltre, è ancora sconosciuto se differenti elementi genetici giochino ruoli particolari in abilità atletiche specifiche.

Infatti, il successo nelle prestazioni di endurance richiede, ad esempio, un alto sviluppo della capacità aerobica o di fitness cardio-respiratoria, spesso rappresentata dal massimo consumo di ossigeno ( $V_{O_2 \text{ max}}$ ). Per contro, gli eventi potenza e di sprint sono più chiaramente dipendenti dall'attività anaerobica e dalla velocità muscolare.

Queste due grandi suddivisioni, che raggruppano in maniera distinta la maggior parte delle differenti discipline sportive, si caratterizzano per il tipo di metabolismo muscolare.

Gli eventi di sprint e di potenza richiedono in maniera predominante un metabolismo muscolare di tipo anaerobico, viceversa le discipline di endurance dipendono prevalentemente da un metabolismo di tipo aerobico. Per questa ragione non è comune identificare atleti che eccellono nella corsa sui 100 m e contemporaneamente anche nella corsa sui 10.000 m. Infatti, i velocisti d'élite hanno una scarsa probabilità di emergere negli eventi di endurance e viceversa (*Tesh & Karlsson, 1985*).

Il sistema renina – angiotensina (RAS) gioca un ruolo importante nell'omeostasi dei fluidi dell'organismo umano e nel rimodellamento del ventricolo sinistro. L'enzima che converte l'angiotensina (ACE) è una componente chiave del RAS, agendo attraverso la generazione del potente vasocostrittore Angiotensina II (Ang II) e la degradazione del vasodilatatore Chinina (*Coates, 2003*). L'Angiotensina II, il prodotto biologico predominante del RAS, ha effetti conosciuti sul metabolismo (*Brink et al., 1996*) ed è noto come un fattore di crescita necessario per l'ipertrofia del muscolo scheletrico in risposta al caricamento meccanico (*Gordon et al., 2001*). Molte delle attività fisiologiche e fisiopatologiche sono mediate dal recettore di tipo I dell'Angiotensina II ( $AT_1R$ ), che è anche l'unico recettore per l'Angiotensina II presente nell'organismo umano (*Jones and Woods, 2003*). Il

polimorfismo funzionale del gene ACE è stato identificato nell'assenza (delezione; allele D) o nella presenza (inserzione; allele I) di una sequenza ripetuta Alu di 287 bp nell'introne 16 del gene ACE. Questo polimorfismo è stato associato ad una più alta attività dell'enzima ACE a livello dei tessuti e del siero (*Rigat et al., 1990; Danser et al., 1995*), risultando in una maggiore produzione di Ang II e di aldosterone e nel decremento dell'emivita della bradichina (*Baudin, 2002; Williams et al., 2004*).

Vi è attualmente un dibattito in letteratura circa l'associazione del genotipo ACE con la performance sportiva. La mancanza di associazione è stata riportata in alcuni studi nei quali gli atleti d'élite erano stati reclutati da diverse discipline sportive, con capacità metaboliche miste (*Taylor et al., 1999; Rankinen et al., 2000*). Viceversa, in studi di coorte più omogenei dal punto di vista atletico, che hanno considerato sportivi provenienti da una singola disciplina, l'allele I è stato associato ad un incremento delle performance di endurance, essendo particolarmente frequente tra gli arrampicatori di alta quota (*Montgomery et al., 1998*) e i canottieri Australiani (*Gayagay et al., 1998*), così come tra i corridori d'élite su lunga distanza Britannici (*Myerson et al., 1999*), Spagnoli (*Alvarez et al., 2000*), Russi (*Nazarov et al., 2001*), Italiani (*Scanavini et al., 2002*) e triatleti Sud Africani (*Collins et al., 2004*).

Un effetto opposto è stato correlato all'allele D, essendo stato riscontrato più comunemente tra gli atleti d'élite praticanti discipline di sprint e potenza, come i velocisti (*Myerson et al., 1999*) e i nuotatori su corte distanze (*Nazarov et al., 2001; Woods et al., 2001*).

A partire da questi presupposti, nel presente capitolo si è tentato di verificare se vi fosse una qualche associazione tra polimorfismo ACE I/D e performance sportiva d'élite nella ginnastica artistica maschile e femminile.

## 9.2 MATERIALI E METODI

Il **Campione** esaminato a questo scopo era composto da 33 Ginnasti delle Squadre Nazionali Italiane Juniores e Seniores di Ginnastica Artistica (Maschi N.=17; Femmine N.16) che negli anni 2005-2007 avevano raggiunti livelli agonistici Internazionali, Mondiali ed Olimpici. Il campione esaminato rappresentava l'intera popolazione di riferimento in termini di categoria e livello agonistico.



I soggetti avevano praticato ginnastica artistica per anni 10.4, in media (Maschi =  $12.52 \pm 5.12$  anni; Femmine =  $8.1 \pm 1.8$  anni) Il loro allenamento consisteva in  $29.3 \pm 6.33$  ore alla settimana.

I risultati ottenuti dall'analisi delle frequenze genotipiche ed alleliche nei ginnasti sono stati confrontati con un gruppo di controllo formato da 53 soggetti sani e sedentari. Tutti i soggetti esaminati erano di origine europea e provenivano da aree del nord, del centro e del sud Italia.

### **Analisi Statistica.**

**Le frequenze alleliche** sono state calcolate mediante il metodo della conta degli alleli, in base alle frequenze genotipiche osservate. Secondo questo metodo la frequenza di un allele X è data dalla formula:  $X = (2XX + XY) / 2N$ ; in cui X è la frequenza dell'allele, ottenuta contando direttamente il gene 2 volte per ogni omozigote e una volta per ogni eterozigote e rapportando il valore ottenuto al pool genico del campione (due volte il numero degli individui campionati).

In base alla legge di *Hardy-Weinberg*, dalle frequenze geniche è possibile ottenere le frequenze genotipiche attese.

**Equilibrio di Hardy-Weinberg.** Una popolazione mendeliana è un gruppo di individui interfertili che condividono un insieme di geni che vengono trasmessi da una generazione all'altra in accordo con le leggi di Mendel. La legge di Hardy-Weinberg, considerando una popolazione mendeliana, asserisce che le frequenze alleliche di una popolazione non variano di generazione in generazione e che le frequenze genotipiche si stabilizzano dopo una generazione secondo le proporzioni  $2p$ ,  $2pq$ , e  $2q$ , dove p e q sono le frequenze alleliche nella popolazione, se vengono soddisfatte tre condizioni:

- 1) la popolazione è infinitamente grande per cui le deviazioni casuali dai rapporti attesi non causano variazioni delle frequenze (deriva genetica);
- 2) l'accoppiamento è casuale;
- 3) sulla popolazione non agiscono: *mutazione, migrazione, selezione naturale*.

Questa legge, consente di stabilire le **frequenze genotipiche** a partire da quelle alleliche, quando la popolazione è in equilibrio. In questo modo si può valutare quali condizioni sono violate quando la distribuzione teorica attesa dei genotipi non corrisponde a quella trovata sperimentalmente. La legge può essere utilizzata come ipotesi zero sulla quale confrontare la struttura genetica di qualsiasi popolazione.

Per valutare se il campione analizzato risulta in equilibrio secondo la legge di Hardy-Weinberg è stato utilizzato il test esatto basato sulla catena di Markov (*Guo e Thompson, 1992*). Il test è stato eseguito con l'utilizzo del programma GENEPOP, versione 4.0. (*Raymond e Rousset, 1995*).

**Test di Differenziazione Genetica.** Le differenze genetiche tra le diverse popolazioni per il locus considerato, sono state calcolate attraverso il programma Genepop (v 4.0) che utilizza il test esatto di Fisher.

### Metodi Sperimentali.

Il DNA è stato estratto da ciascun soggetto utilizzando un tampone salivare attraverso il Kit fornito dalla ditta Qiagen, secondo le indicazioni fornite dalla stessa ditta.

### Sintesi della procedura di laboratorio.

Si è utilizzato lo spettrofotometro per la misurazione della concentrazione di DNA estratto.

Il DNA è stato amplificato mediante PCR utilizzando la procedura di seguito descritta.

Sequenze primers:

5' - CTG GAG ACC ACT CCC ATC CTT TCT – 3'

5' – GAT GTG GCC ATC ACA TTC GTC AGA T – 3'

Reagenti	Quantità per Campione
DNA	1 µl
Taq	0,2 µl
Buffer x 10	2,5 µl
DMSO	1,25 µl
MgCl <sub>2</sub>	1,5 µl
dNTP (2,5 mM)	1 µl
Primer 5'	0,5 µl
Primer 3'	0,5 µl
H <sub>2</sub> O	16,55 µl
Volume totale	25 µl

	Condizioni di Reazione		
Denaturazione iniziale	94°C	5'	
Denaturazione	94°C	1'	30 cicli
Ibridazione	58°C	1'	
Estensione	72°C	2'	
Estensione finale	72°C	5'	

Il frammento amplificato è stato sottoposto ad elettroforesi su gel di agarosio al 2% che ha consentito l'identificazione dei tre genotipi (DD 490bp; ID 190/490bp; II 190bp). L'identificazione delle bande avviene tramite un marcatore seminato assieme al DNA e che permette il riconoscimento esatto della taglia delle bande (Allele I: 490bp; Allele D: 190 pb).

Tutte le analisi sopra descritte sono state condotte presso il laboratorio di Biologia delle Popolazioni Umane dell'Università degli Studi di Cagliari diretto dal Prof. Giuseppe Vona.

### 9.3 RISULTATI

Le *caratteristiche generali del campione* di ginnasti (n.33) esaminato sono riportate in tabella 9.1.

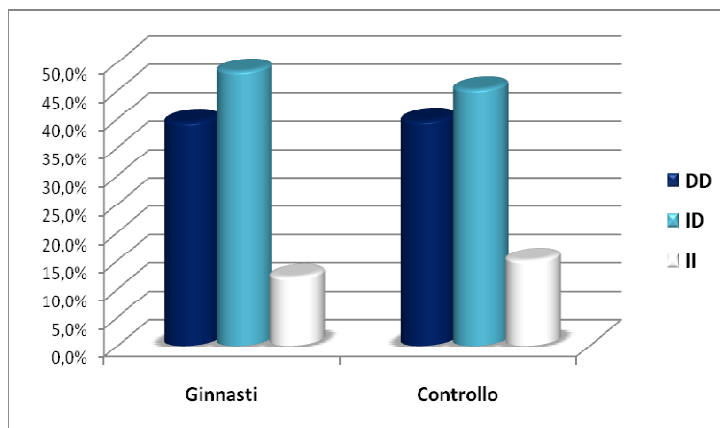
**TABELLA 9.1** Caratteristiche generali del campione di Ginnasti (n.35) esaminato nel presente studio.

	Maschi (n.17)	Femmine (n.16)	Totale (n.33)
<b>Età (anni)</b>	20 ± 4.8	15.2 ± 2.0	17.7 ± 4.4
<b>Statura (cm)</b>	166.7 ± 8.6	149.7 ± 5.8	
<b>Peso (Kg)</b>	64.7 ± 10.1	40.7 ± 5.7	
<b>BMI</b>	25.4 ± 6.4	11.2 ± 2.7	
<b>Allenamento (h/sett)</b>	27.5 ± 6.1	31.1 ± 5.9	29.3 ± 6.3

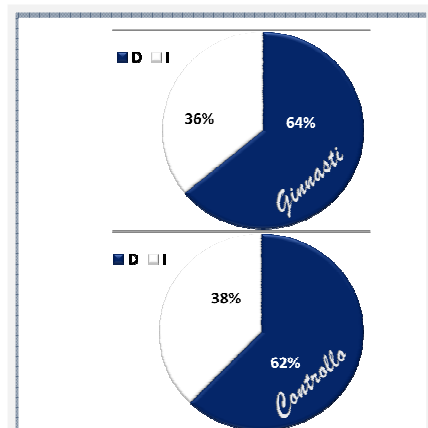
Come si evince dalla tabella 9.1 le ginnaste risultano più giovani, hanno una statura inferiore e pesano di meno rispetto ai colleghi maschi di pari livello. Viceversa, i ginnasti hanno valori superiori per l'indice di massa corporea ed effettuano un numero di ore di allenamento settimanale inferiore rispetto alle colleghe di sesso femminile.

#### 9.3.1 Analisi delle Frequenze Alleliche e Genotipiche nel Campione Generale

Il Grafico 9.1 mostra le frequenze genotipiche e alleliche nel campione di ginnasti, considerato globalmente (Maschi e Femmine) e nel gruppo di controllo. Non si sono riscontrate differenze significative ( $p=0.08$ ) nella distribuzione delle frequenze genotipiche (ginnasti: DD=39%; ID=48% e II=12% vs controllo: DD=39.6%; ID=45.2% e II=15.1%) ed alleliche (ginnasti: D=64%; I=36%; vs controllo: D=62.3%; I=37.7%) (Grafico 9.1) tra ginnasti e gruppo di controllo.



**Grafico 9.1** Distribuzione percentuale della frequenza genotipica dell'ACE nel gruppo di ginnasti (n.33) (presente studio) e nel campione di controllo (n.53).



**Grafico 9.2** Distribuzione percentuale della frequenza allelica dell'ACE nel gruppo di ginnasti (n.33) (presente studio) e nel campione di controllo (n.53).

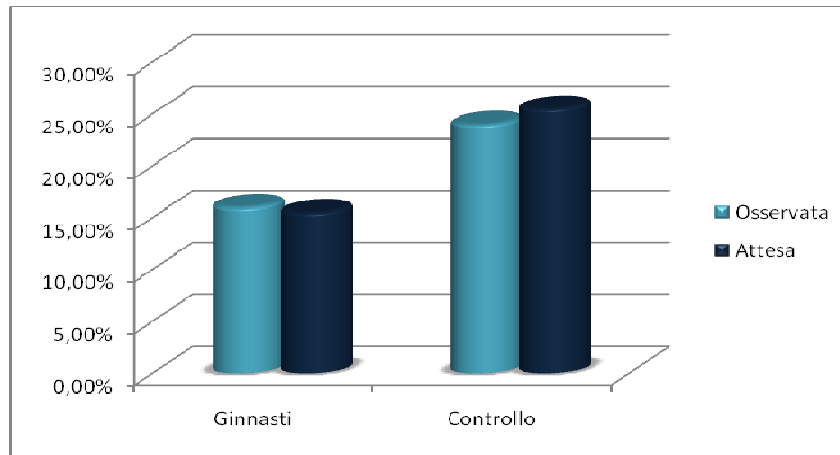
### ***Eterozigotità ed Equilibrio di Hardy-Weinberg.***

Sono stati calcolati i valori di eterozigotità (H) per il locus ACE nel gruppo di ginnasti e nel gruppo di controllo. La tabella 9.2 ed il Grafico 9.3, mostrano i valori di eterozigotità percentuale osservata e attesa per il locus in argomento.

**Tabella 9.2** Eterozigotità % osservata ed attesa ed Equilibrio di Hardy-Weinberg.

ACTN-3	GINNASTI		CONTROLLO	
	OSSERVATE	ATTESE	OSSERVATE	ATTESE
ETEROZIGOTI	16	15.50	24	25.14
HW (p)	0.77		-	

Come si evince dalla tabella 9.2 e dal grafico 9.3, sia nel gruppo di controllo sia nel campione di ginnasti le differenze tra valori osservati e attesi sono modeste. Nei ginnasti, la percentuale di eterozigotità attesa è pari al 15.5% e quella osservata è del 16%, mentre nel gruppo di controllo i valori di eterozigotità attesi sono del 25.1% e quelli osservati pari al 24%. I due campioni in questione sono, per il locus considerato, in equilibrio secondo il test basato sulla catena di Markov; per tanto le differenze tra i valori osservati ed attesi sono unicamente casuali ( $p=0.77$ ).



**Grafico 9.3** Eterozigosità percentuale per il locus ACE nel gruppo di ginnasti e nel gruppo di controllo.

### 9.3.2 Confronto con altri sportivi d'elite.

Dalla comparazione dei risultati ottenuti sui ginnasti e i dati ricavati dalla letteratura e relativi a sportivi d'elite, emerge quanto riportato nella tabella 9.3.

**TABELLA 9.3** Distribuzione del polimorfismo ACE I/D nei ginnasti (maschi e femmine) e negli atleti d'elite.

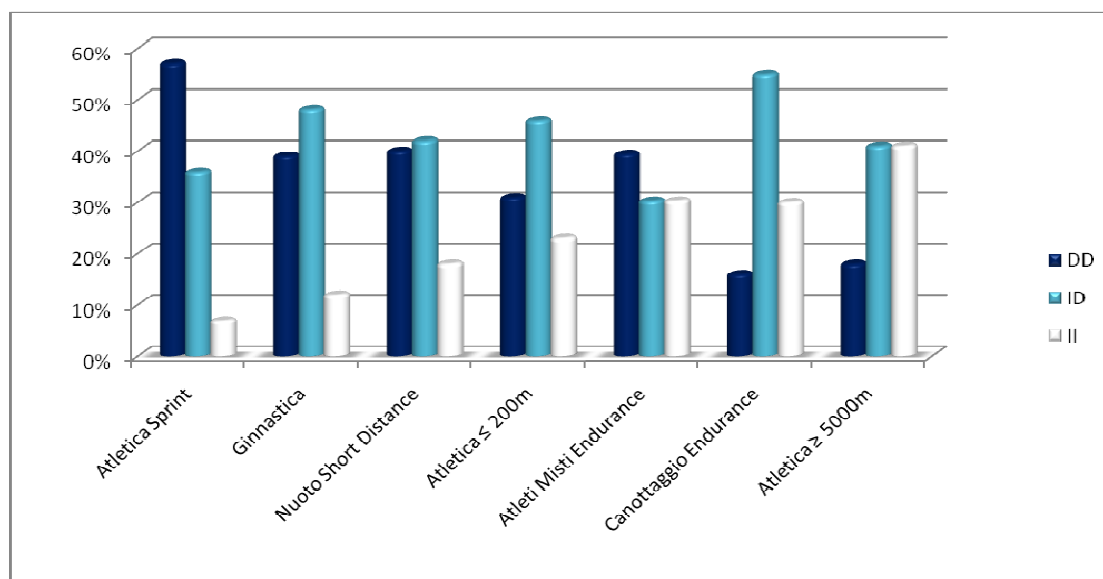
Sportivi d'elite	Freq. Genotipica % (No.)			Freq. Allelica (%)		References
	DD	ID	II	D	I	
<b>Ginnastica</b>	39%	48%	12%	64%	36%	<i>Presente studio</i>
	(13)	(16)	(4)			
<b>Canottaggio Endurance</b>	16%	55%	30%	57%	43%	<i>Gayagay et al., 1998</i>
	(10)	(35)	(19)			
<b>Nuoto Short Distance</b>	40%	42%	18%	61%	39%	<i>Woods et al., 2001</i>
	(23)	(24)	(10)			
<b>Atletica Sprinters</b>	57%	36%	7%	75%	25%	<i>Nazarov et al., 2001</i>
	(8)	(5)	(1)			
<b>Atletica Corsa <math>\geq 5000m</math></b>	18%	41%	41%	38%	62%	<i>Myerson et al., 1999</i>
	(6)	(14)	(14)			
<b>Atleti Misti Endurance</b>	39.4%	30.3%	30.3%	55%	45%	<i>Scanavini et al., 2002</i>
	(13)	(10)	(10)			
<b>Atletica Sprint <math>\geq 200m</math></b>	31%	46%	23%	54%	46%	<i>Myerson et al., 1999</i>
	(4)	(6)	(3)			

Confrontando le frequenze del polimorfismo ACE I/D tra i ginnasti (maschie e femmine) e gli atleti d'elite analizzati da Nazarov e collaboratori (2001), Woods e collaboratori (2001) e Myerson e collaboratori (1999) non emerge alcuna differenza significativa ( $p>0.05$ ) tra il

campione esaminato nel presente studio e gli atleti praticanti Nuoto su corte distanze ed Atletica Leggera (discipline di Sprint) (Grafico 9.4).

Anche la distribuzione delle frequenze alleliche e genotipiche negli Atleti Olimpici di Endurance praticanti discipline miste (*Scanavini et al., 2002*) non presenta differenze significative ( $p>0.05$ ) rispetto a quanto da noi riscontrato per ginnasti (Grafico 9.4), anche se è forse da osservare una maggiore frequenza dell'allele D nei ginnasti (ginnasti: D=64%) rispetto a quanto si osserva negli atleti di endurance (D=55%).

Viceversa, dal confronto con gli atleti d'élite praticanti canottaggio per lunghe distanze (*Gayagay et al., 1998*) e corsa sopra i 5000 m (*Myerson et al., 1999*) emergono differenze altamente significative ( $p<0.01$ ) sia nella distribuzione delle frequenze genotipiche che alleliche (Grafico 9.4). In particolare, i ginnasti mostrano una frequenza più elevata del genotipo DD ed inferiore del genotipo II rispetto al gruppo dei canottieri di endurance (canottieri: DD= 16%; II=30% vs Ginnasti DD=39%; II=12%;  $p=0.007$ ;  $\chi^2=9.90$ ) ed al gruppo dei corridori su lunga distanza (corridori: DD=18%; II=41% vs Ginnasti DD=39%; II=12%;  $p=0.006$ ;  $\chi^2=10.23$ ).



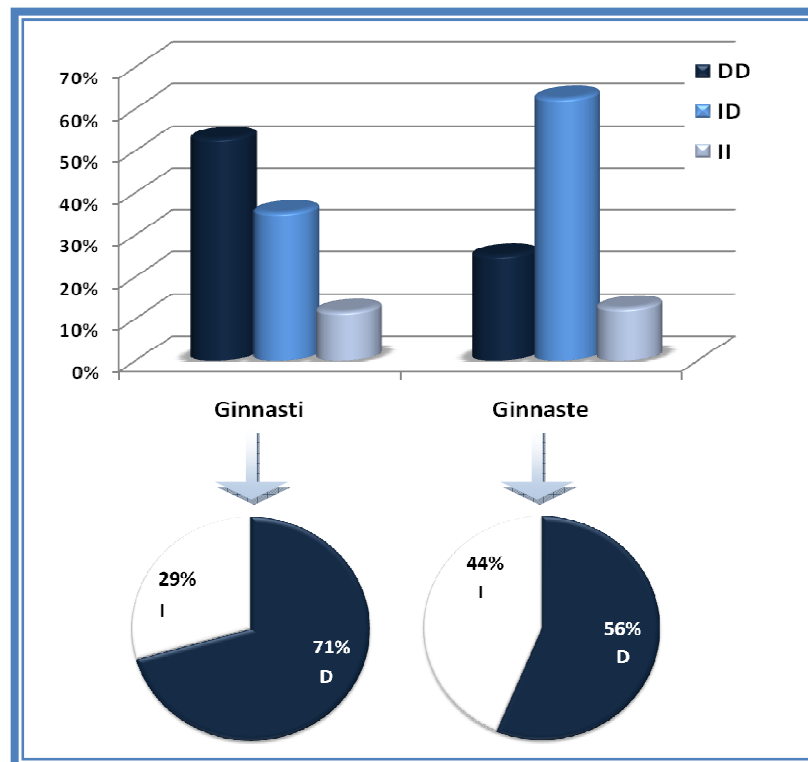
**Grafico 9.4** Distribuzione genotipica % nei ginnasti (presente studio) e in altri atleti d'élite.

Osservando il Grafico 9.4 si può evidenziare una certa relazione tra la durata della performance e la distribuzione genotipica dei soggetti presi in esame. Infatti, gli atleti praticanti discipline sportive caratterizzate da un metabolismo prevalentemente anaerobico, che si distinguono per una performance intensa e di breve durata, tendono a mostrare una frequenza minore del genotipo II e maggiore del genotipo DD. Viceversa gli sportivi

praticanti discipline caratterizzate da un metabolismo prevalentemente aerobico, che si distinguono per una performance ad intensità medio-bassa e di lunga durata, tendono a mostrare una frequenza minore del genotipo DD e maggiore del genotipo II. Fanno eccezione gli atleti provenienti da discipline aerobiche miste, esaminati da Scanavini e collaboratori (2002), che, pur presentando un'alta frequenza del genotipo II, si caratterizzano per una maggiore distribuzione % del genotipo DD sia rispetto agli altri atleti praticanti discipline sportive di endurance sia rispetto agli sprinters esaminati da Myerson e collaboratori (1999). Ma in questo caso, la presenza di diversi sport con esigenze non certo identiche dal punto di vista della prestazione può casualizzare il risultato che si discosta da quanto indicato in genere dalla letteratura.

### 9.3.3 Confronto tra ginnasti maschi e femmine.

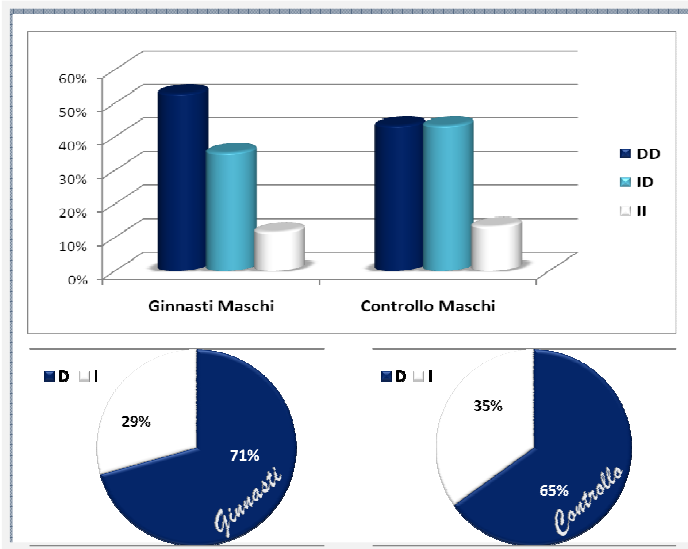
Anche dal confronto tra i due gruppi di ginnasti, suddivisi in relazione al sesso (Maschi e Femmine) non è emersa alcuna differenza significativa ( $p=0.3$ ) nella distribuzione delle frequenze genotipiche ed alleliche (maschi: II=11.7%; ID=35.3%; DD=52.9%; I=29.4%; D=70.58%; vs femmine II=12.5%; ID=62.5%; DD=25%; I=43.7%; D=56.2%), benché si evidenzia una maggiore frequenza dell'allele D nei maschi rispetto alle femmine (Grafico 9.5).



**Grafico 9.6** Distribuzione % allelica e genotipica nei ginnasti (presente studio) maschi e femmine.

### 9.3.4 Distribuzione Allelica e Genotipica nei maschi.

Il grafico 9.7 riporta le frequenze genotipiche ed alleliche nel campione di ginnasti maschi e nel gruppo di controllo formato da soggetti dello stesso sesso. Anche in questo caso, non



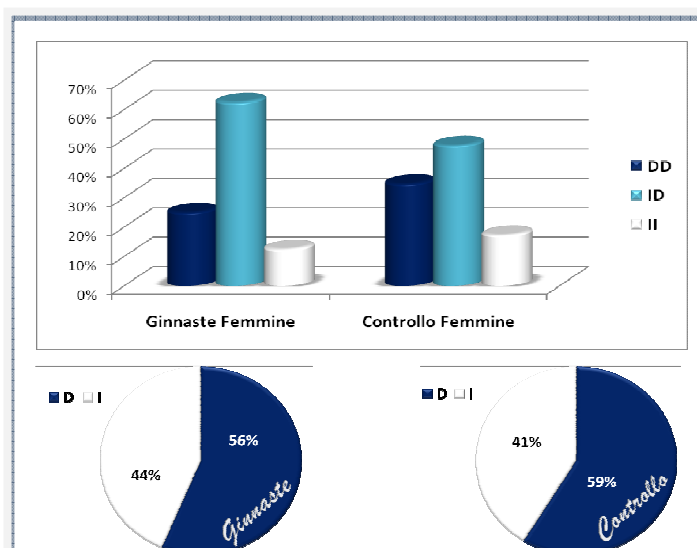
**Grafico 9.7** Distribuzione percentuale della frequenza genotipica ed allelica dell'ACE nel gruppo di ginnasti maschi (n.17) (presente studio) e nel campione di controllo maschile (n.30).

si sono riscontrate differenze significative ( $p=0.66$ ) nella distribuzione delle frequenze genotipiche tra ginnasti (DD=52.9%; ID=35.3% e II=11.8%) e gruppo di controllo (DD=43.3%; ID=43.3%; II=13.3%).

Le stesse conclusioni emergono dall'analisi delle frequenze alleliche, in cui non si evidenzia alcuna differenza significativa tra i due gruppi ( $p=0.65$ ), anche se

rispetto al gruppo di controllo i ginnasti mostrano più frequentemente l'allele D (ginnasti D=70.58% vs controllo D=65%).

### 9.3.5 Distribuzione Allelica e Genotipica nelle femmine.



**Grafico 9.4** Distribuzione percentuale della frequenza genotipica ed allelica dell'ACE nel gruppo di ginnaste (n.16) (presente studio) e nel campione di controllo femminile (n.23).

Il grafico 9.8 riferisce circa le frequenze genotipiche ed alleliche nel campione di ginnaste e nel gruppo di controllo formato da soggetti dello stesso sesso. Anche in questo caso, nessuna differenza significativa ( $p=1.0$ ) si è riscontrata nella distribuzione delle frequenze genotipiche tra ginnaste (DD=25%; ID=62.5% e II=12.5%) e gruppo di controllo (DD=34.7%; ID=47.8%; II=17.3%).



Gli stessi risultati si hanno per le possono essere estesi anche all'esame delle frequenze alleliche, in cui la distribuzione non si differenzia significativamente tra i due gruppi (ginnaste: D=56.2%; I=43.7% vs controllo: D=58.7%; I=41.3%).

#### 9.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI

Sulla base delle associazioni tra polimorfismo del gene ACE I/D e performance degli atleti d'élite, alcuni autori hanno ipotizzato che l'allele I, sia più frequente tra gli atleti di successo praticanti discipline di resistenza, potendo conferire un vantaggio all'efficienza metabolica di questi atleti. L'ipotesi è supportata da uno studio condotto su corridori Olimpionici (n.79 Caucasici), in cui si riscontrava un incremento nella frequenza dell'allele I con l'aumentare della distanza percorsa nella performance degli atleti (rispettivamente 0.35, 0.53 e 0.62 per distanze  $\leq 200\text{m}$ , 400-3000m e  $\geq 5000\text{m}$ ;  $p=0.009$ ) (Myerson *et al.*, 1999). Questi dati sono stati confermati in corridori Russi (Nazarov *et al.*, 2001) e canottieri (Gayagay *et al.*, 1998). Contemporaneamente, gli stessi studi hanno anche suggerito che la frequenza dell'allele D era più elevata di quanto atteso tra i velocisti; una constatazione notata anche tra i nuotatori su corte distanze (Woods *et al.*, 2001). La diversa associazione dell'allele I con i fenotipi dell'endurance “resistenti alla fatica” e dell'allele D con i fenotipi di sprint e/o di “potenza” potrebbe aver causato il conflitto tra i risultati degli studi in cui sono state esaminate discipline sportive miste (Sonna *et al.*, 2001; Taylor *et al.*, 1999; Rankinen *et al.*, 2000). Per esempio, uno di questi studi incluse 81 uomini e 39 donne che praticavano una varietà di discipline sportive a livello elitario: hockey (n.26); ciclismo (n.25); sci (n.21); atletica leggera (n.15); nuoto (n.13); canottaggio (n.7); ginnastica artistica (n.5); ed altri (n.8) (Taylor *et al.*, 1999).

Nel presente studio, pur essendo stati esaminati atleti provenienti da una singola disciplina sportiva, non si sono riscontrate differenze nella distribuzione percentuale delle frequenze alleliche e genotipiche del polimorfismo ACE I/D tra ginnasti e gruppo di controllo. Questo risultato potrebbe tradursi in una mancanza di associazione con la performance ginnica se non si prendesse in considerazione il fatto che, le frequenze osservate nella popolazione italiana non-sportiva esaminata nel presente lavoro sono molto simili, come distribuzione percentuale allelica e genotipica, alle frequenze osservate in altri studi di associazione relativamente agli atleti d'élite praticanti discipline di sprint.

Considerata l'elevata frequenza dell'allele D nei ginnasti, si potrebbe ipotizzare che la scarsa numerosità del campione di controllo esaminato nel presente lavoro possa aver

influenzato i risultati ed alterato la reale distribuzione del polimorfismo ACE I/D della popolazione italiana non sportiva. Questa prima ipotesi può essere smentita confrontando i risultati relativi al nostro campione di controllo con i dati presenti in letteratura circa la distribuzione delle frequenze del polimorfismo ACE I/D nella popolazione italiana. Lo studio di Scanavini e collaboratori (2002), per esempio, ha utilizzato un gruppo di controllo formato da 152 soggetti italiani sani di età compresa tra i 16 ed i 40 anni, riscontrando le seguenti frequenze percentuali: DD=44%; ID=43.5%; II=12.5%. Queste frequenze sono molto simili a quanto riscontrato nel gruppo di controllo da noi esaminato (DD=40%; ID=45%; II=15%) le quali si avvicinano ancor più alle frequenze riscontrate da Aucella e collaboratori (2000) in un campione di 1307 soggetti italiani (739 donne e 569 uomini) sani sedentari (DD=43%; ID=44%; II=13%).

Piuttosto, come si evince dalla letteratura, le frequenze del polimorfismo ACE I/D pur non presentando differenze tra i due sessi (*Myerson et al., 1999*), sono però influenzate dal gruppo etnico (*Barley et al., 1994*). Infatti, è stata riscontrata una frequenza più elevata dell'allele D nella popolazione nigeriana, dell'allele I nella popolazione Samoana e negli Indiani Yanomani, mentre la frequenza dei genotipi DD, ID e II negli Europei è stata stimata con un rapporto di 1:2:1 (*Barley et al., 1994*).

Da ciò si evince che, la popolazione italiana presenta delle differenze rispetto a quanto osservato nella più generale popolazione europea per ciò che concerne la distribuzione dei genotipi DD e II, e probabilmente questa differenza potrebbe configurarsi come la principale causa per la quale non si sono evidenziate differenze tra il gruppo di ginnasti esaminato nel presente studio ed il gruppo di controllo italiano.

Infatti, quando sono stati confrontati i ginnasti con gli atleti praticanti discipline di endurance, si sono evidenziate differenze altamente significative nella distribuzione delle frequenze alleliche e genotipiche. In generale, i ginnasti hanno mostrato una frequenza più elevata del genotipo DD e dell'allele D rispetto agli sportivi di endurance presi in considerazione. Viceversa, dal confronto con gli atleti di sprint non è emersa alcuna differenza nella distribuzione delle frequenze del polimorfismo ACE I/D rispetto ai ginnasti, suggerendo per contro il ruolo chiave che potrebbe assumere l'allele D nel favorire le performance di sprint.

Il suggerimento del possibile vantaggioso effetto dell'allele D alle performance di sprint e potenza è supportato dalla presenza di un eccesso nella frequenza dell'allele D tra gli

sprinters rispetto ai campioni di controllo e soprattutto rispetto agli atleti praticanti discipline di endurance (Myerson *et al.*, 1999; Woods *et al.*, 2001).

L'ANG II è riconosciuto come un fattore di crescita cellulare (Beinlich *et al.*, 1991), e i livelli più elevati, associati con l'allele D, potrebbero in parte tener conto di questa ipotesi attraverso un aumento della dimensione delle fibre muscolari.

Infatti, sebbene l'allele D sia stato associato con una maggiore modificazione nella crescita del ventricolo sinistro in risposta all'allenamento anaerobico di potenza (Montgomery *et al.*, 1997), è più probabile che il meccanismo alla base dell'associazione tra allele D e performance di sprint sia da ricercare nelle differenze relative alla forza muscolare. Tale effetto può quindi dipendere da un aumento dell'ACE mediato dall'attivazione del fattore di crescita ANG II (Brown *et al.*, 1998; Liu *et al.*, 1998) e dalla degradazione dell'inibitore di crescita bradichina (Murphey *et al.*, 2000; Linz *et al.*, 1992).

**In conclusione**, partendo dall'assunto che il campione di ginnasti esaminato nel presente studio si presenta poco numeroso (n.33 soggetti), ma pur sempre rappresentativo della popolazione di riferimento, i nostri risultati, sebbene non evidenzino differenze significative tra campione di ginnasti e gruppo di controllo per i motivi precedentemente descritti, supportano le ipotesi di una associazione positiva tra l'allele D del gene ACE e le performance di sprint, nelle quali la ginnastica artistica può essere ricondotta.

Il fatto però che nel presente studio anche la popolazione italiana generale presenti elevate frequenze dell'allele D e del genotipo DD suggerisce l'esigenza di nuovi ed ulteriori approfondimenti circa l'associazione tra marcatore ACE e performance *d'élite* di sprint.

Inoltre, i nostri dati sostengono le proposte che solo una singola disciplina sportiva per volta dovrebbe essere presa in considerazione e che comunque diversi atleti dovrebbero essere sempre analizzati tenendo presente la tipologia del metabolismo muscolare caratteristico della prestazione (anaerobica/aerobica o sprint/resistenza).



***Polimorfismo del gene ACTN-3 in ginnasti d'élite***



## 10. POLIMORFISMO DEL GENE ACTN-3 IN GINNASTI D'ELITE

### 10.1 INTRODUZIONE

La risposta dell'organismo umano all'esercizio fisico è altamente variabile tra gli individui, e le ricerche indicano che questa risposta potrebbe essere mediata in larga misura da variazioni genetiche (*Bouchard et al., 1999*).

Il gene ACTN-3 codifica per la proteina  $\alpha$ -actinina-3 ( $\alpha$ -Atn3), una componente del "macchinario" contrattile delle fibre muscolari scheletriche veloci (*MacArthur and North, 2004*).

E' stato identificato un *Single Nucleotide Polymorphism* (SNP) nell'esone 16 del gene ACTN-3, il quale è associato all'assenza completa della proteina  $\alpha$ -actinina-3 (*North et al., 1999*). Questo SNP è una *transizione* nucleotidica da C (Citosina) a T (Timina) nella posizione 1,747, che causa un cambiamento nei 577 residui amminoacidi dell'arginina, introducendo un prematuro codone di stop (R577X) (*North et al., 1999*).

Il gene ACTN-3, come già descritto nel paragrafo 4.4.2 della presente trattazione, è un polimorfismo nella lunghezza del DNA che si presenta con due varianti alleliche (R ed X) che, a loro volta, danno origine a 3 differenti genotipi di cui l'omozigote per l'allele R (577RR o RR), l'omozigote per l'allele X (577XX o XX) e l'eterozigote "R577X" (RX).

L'omozigosità per il codone di stop nel polimorfismo (R577X) del gene ACTN-3, genera una completa deficienza dell' $\alpha$ -Atn3 nel 18% degli individui sani di origine europea, con variazioni di frequenza in altre popolazioni (*Mills et al., 2001; Yang et al., 2007*).

Diversi autori hanno dimostrato che il polimorfismo R577X è associato con la performance muscolare nell'uomo. Il genotipo 577XX è marcatamente sotto-rappresentato negli atleti d'elite praticanti discipline di sprint (*Yang et al., 2003; Niemi and Majamaa, 2005*), ed è stato anche associato ad una riduzione della forza muscolare e delle prestazioni di sprint in popolazioni di non-atleti (*Clarkson et al., 2005; Vincent et al., 2007*), suggerendo che la mancanza della proteina  $\alpha$ -Atn3 possa avere un effetto negativo sulle funzioni delle fibre muscolari scheletriche veloci.

In contrapposizione, il genotipo 577XX è leggermente sovra-rappresentato tra le atlete d'elite di lunga distanza (*Yang et al., 2003*), suggerendo che la mancanza dell' $\alpha$ -actinina-3 potrebbe anche avvantaggiare le performance di endurance.

Tuttavia, la possibile associazione positiva del genotipo 577XX con la performance di endurance rimane interessante ma incerta. Infatti, due recenti studi che hanno confrontato la frequenza del genotipo R577X tra 50 ciclisti d'élite, 50 corridori d'élite di endurance e 123 soggetti di controllo spagnoli (*Lucia et al., 2006*) e tra 42 atleti maschi praticanti canottaggio e 102 soggetti maschi di controllo italiani (*Paparini et al., 2007*) non hanno riscontrato differenze significative nella distribuzione della frequenza del genotipo R577X tra controllo e gruppi di atleti d'élite.

Recentemente, uno studio condotto sui topi ha dimostrato che la perdita dell'espressione della proteina  $\alpha$ -Atn3 risultava in una modificazione del metabolismo muscolare verso un più efficiente meccanismo aerobico, con una conseguente maggiore distanza di corsa raggiunta dai topi prima del loro esaurimento, durante un test su treadmill (*MacArthur et al., 2007*).

Uno studio recentissimo pone in evidenza delle associazioni tra genotipo R577X e distribuzione del tipo di fibre muscolari scheletriche (*Vincent et al., 2007*). In tale lavoro è stato dimostrato che individui con genotipo 577RR mostrano una superficie muscolare percentuale ed un numero di fibre veloci di tipo IIx significativamente più elevato rispetto agli individui con genotipo 577XX. Ciò suggerisce che il meccanismo, mediante il quale il polimorfismo del gene ACTN-3 attua il suo effetto sulla potenza muscolare, può contare sulla funzione di controllo della proporzione del tipo di fibre muscolari.

In considerazione dei risultati presenti in letteratura, circa l'associazione tra polimorfismo del gene ACTN-3 e performance sportiva d'élite, nella presente indagine ci si è proposti di analizzare le distribuzioni genotipiche e le frequenze alleliche del gene ACTN-3 sui Ginnasti delle Squadre Nazionali Italiane di Ginnastica Artistica Maschile e Femminile (2005-2007) al fine di esaminare le differenze genetiche tra atleti d'élite e la popolazione non-sportiva.

Lo scopo ultimo dello studio è di testare l'ipotesi se il vantaggio, descritto in letteratura, conferito dall'allele 577R del gene ACTN-3 alle performance di sprint e potenza ad alti livelli agonistici sussista anche per la performance sportiva d'élite nella ginnastica artistica.



## 10.2 MATERIALI E METODI

Il *Campione* esaminato era composto da **35 Ginnasti** delle Squadre Nazionali Italiane Juniores e Seniores di Ginnastica Artistica (Maschi N.=17; Femmine N.18) che negli anni 2005-2007 avevano raggiunti livelli agonistici Internazionali, Mondiali ed Olimpici.

Il campione esaminato rappresentava, al momento, l'intera popolazione di riferimento in termini di categoria e livello agonistico.

I soggetti avevano praticato ginnastica artistica in media per 10.4 anni, (Maschi =  $12.5 \pm 5.12$  anni; Femmine =  $8.4 \pm 1.8$  anni) Il loro allenamento consisteva in  $29.6 \pm 6.2$  ore alla settimana.

I risultati ottenuti dall'analisi delle frequenze genotipiche ed alleliche nei ginnasti sono stati confrontati con un gruppo di controllo formato da 53 soggetti (Maschi N.=31; Femmine N.=22) sani e sedentari. Tutti i soggetti esaminati erano di origine europea e provenivano da aree del nord, del centro e del sud Italia.

In analogia con gli altri studi presenti in letteratura, per la verifica delle ipotesi iniziali le analisi sono state condotte al fine di mettere in risalto tutte le possibili peculiarità nella distribuzione delle frequenze genotipiche ed alleliche del campione esaminato rispetto al gruppo di controllo ed agli altri atleti d'élite praticanti differenti discipline sportive.

Infatti, partendo da un'analisi globale, nella quale i ginnasti sono stati considerati unitamente (maschi e femmine), si è giunti ad un'analisi più dettagliata che ha preso in considerazione i due sottogruppi di ginnasti, suddivisi in relazione al sesso, al fine di evidenziare delle possibili differenze collegate anche a questo fattore.

**Analisi Statistica.** Le analisi condotte sono descritte al Capitolo 9 della presente trattazione.

### **Metodi Sperimentali.**

Il DNA è stato estratto da ciascun soggetto utilizzando un tampone salivare attraverso il Kit fornito dalla ditta Qiagen (*Mills et al., 2001*).

Il DNA genomico è stato isolato mediante omogeneizzazione in SDS (sodio dodicilsolfato) e digestione in proteinasi K, seguita da estrazione con solvente organico (21). Al procedimento di estrazione ha fatto seguito la determinazione della concentrazione di DNA mediante l'utilizzo dello spettrofotometro. L'indagine del gene di interesse ha previsto

l'amplificazione dei campioni con tecnica PCR con l'utilizzo di primers specifici e la successiva analisi mediante corsa elettroforetica su gel, secondo le procedure indicate da Mills e collaboratori (*Mills et al., 2001*).

#### ***Sintesi della procedura di laboratorio.***

L'esone 16 dell'ACTN-3 è stato amplificato dal DNA genomico attraverso l'utilizzo dei seguenti primers specifici:

foward, 5' – CTGTTGCCTGTGGTAAGTGGG – 3'

reverse, 5' – TGGTCACAGTATGCAGGAGGG – 3'.

Il ciclo di reazione per i primers mediante PCR è stato: 94°C per 5 minuti, 94°C per 30 secondi e 70°C per 60 secondi, per 35 cicli, con una estensione finale di 72°C per 10 minuti. L'enzima utilizzato per digerire il gene ACTN-3 è stato il *DdeI*. Gli alleli R577X (rispettivamente codone CGA e codone TGA) sono stati distinti mediante l'assenza (577R) o la presenza (577X) del sito di restrizione *DdeI* nell'esone 16.

Il prodotto PCR 577R consta di 2 frammenti di 205 e 85 paia di basi (pb); mentre il prodotto PCR 577X ha 3 frammenti di 108, 97 e 86 paia di basi (pb).

I frammenti ottenuti dalla digestione mediante PCR sono stati separati con elettroforesi su gel di poliacrilamide al 10% ed evidenziati tramite colorazione con Bromuro di Etidio (*Mills et al., 2001*).

Tutte le analisi sopra descritte sono state condotte presso il laboratorio di Biologia delle Popolazioni Umane dell'Università di Cagliari diretto dal Prof. Giuseppe Vona.

### **10.3 RISULTATI**

Le *caratteristiche generali del campione* di ginnasti (n.35) esaminato sono riportate nella tabella 10.1.

**TABELLA 10.1** Caratteristiche generali del campione di Ginnasti (n.35) esaminato nel presente studio.

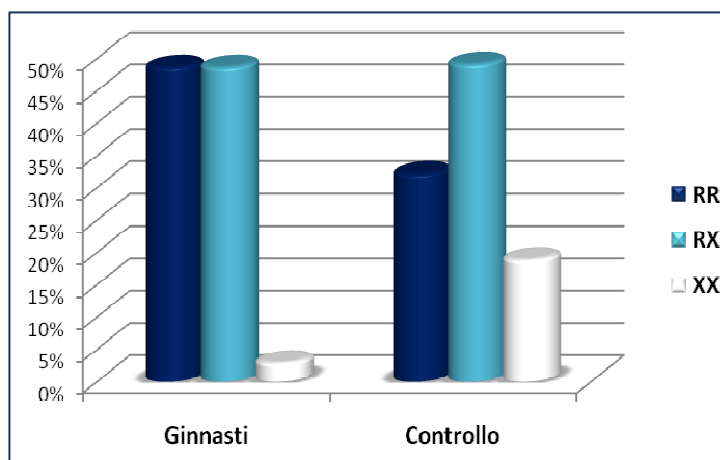
	Maschi (n.17)	Femmine (n.18)
<b>Età (anni)</b>	20 ± 4.8	15.5 ± 1.9
<b>Statura (cm)</b>	166.7 ± 8.6	150.6 ± 6.2
<b>Peso (Kg)</b>	64.7 ± 10.1	42.3 ± 6.9
<b>BMI</b>	25.4 ± 6.4	12.1 ± 3.5
<b>Allenamento (h/sett)</b>	27.5 ± 6.1	31.5 ± 6.2

Le ginnaste risultano più giovani, hanno una statura inferiore e pesano di meno rispetto ai colleghi maschi di pari livello. Viceversa, i ginnasti hanno valori superiori per l'indice di

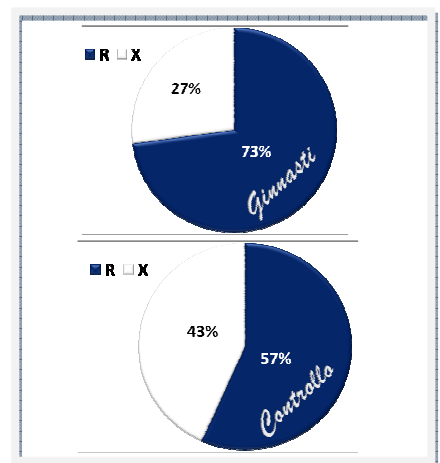
massa corporea ed eseguono un numero di ore di allenamento settimanale inferiore rispetto alle colleghe di sesso femminile.

### 10.3.1 Analisi delle Frequenze Alleliche e Genotipiche nel Campione Generale.

I Grafici 10.1 e 10.2 mostrano rispettivamente le frequenze alleliche e genotipiche nel campione di ginnasti, considerato globalmente (Maschi e Femmine) e nel gruppo di controllo. Differenze significative ( $p=0.031$   $\chi^2=6.90$ ) nella distribuzione delle frequenze genotipiche si sono riscontrate tra ginnasti (RR=48.57%; RX=48.57% e XX=2.86%) e gruppo di controllo (RR=32.07%; RX=49.05%; XX=18.86% (Grafico 10.1).



**Grafico 10.1** Distribuzione percentuale della frequenza genotipica dell'ACTN-3 nel gruppo di ginnasti (n.35) (presente studio) e nel campione di controllo (n.53).



**Grafico 10.2** Distribuzione percentuale della frequenza allelica dell'ACTN-3 nel gruppo di ginnasti (n.35) (presente studio) e nel campione di controllo (n.53).

I ginnasti presentano, infatti, una frequenza più elevata del genotipo 577RR ed inferiore del genotipo 577XX rispetto al gruppo di controllo.

Tra tutti i ginnasti esaminati solo uno presentava l'omozigosità per l'allele 577X.

Inoltre, si sono evidenziate frequenze significativamente ( $p=0.039$ ;  $\chi^2=6.47$ ) più elevate dell'allele 577R e più basse dell'allele 577X nei ginnasti rispetto al controllo (rispettivamente R=72.85%; X=27.14% vs R=56.60%; X=43.40%) (Grafico 10.2).

### *Eterozigosità ed Equilibrio di Hardy-Weinberg.*

Sono stati calcolati i valori di eterozigosità per il locus ACTN-3 nel gruppo di sportivi e nel gruppo di controllo. Dall'esame della Tabella 10.2 e del Grafico 10.3 è possibile

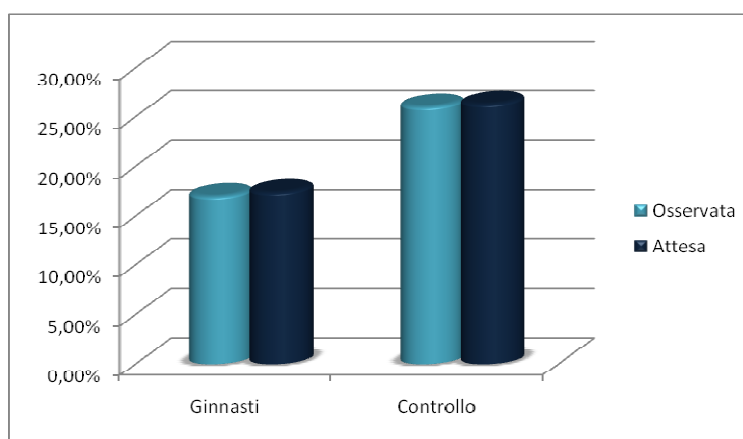
riscontrare, per il gruppo di controllo, una perfetta vicinanza tra i valori osservati e quelli attesi.

**Tabella 10.2** Eterozigosità osservata ed attesa ed Equilibrio di Hardy-Weinberg.

ACTN-3	GINNASTI		CONTROLLO	
	OSSERVATE	ATTESE	OSSERVATE	ATTESE
ETEROZIGOTI	17	14.04	26	26.28
HW (p)	0.39		-	

Viceversa, ciò non accade per il gruppo di ginnasti, in cui il discostamento tra i due valori risulta essere maggiore rispetto al controllo; l'eterozigosità attesa è pari a 14.04%, mentre quella osservata è pari a 17%.

Dall'analisi dei campioni in esame, non emergono discostamenti significativi per il locus considerato ( $p=0.39$ ), la popolazione risulta quindi in equilibrio e le differenze tra i valori delle frequenze osservate e attese sono dovuti unicamente al caso.



**Grafico 10.3** Eterozigosità percentuale per il locus ACTN-3 nel gruppo di ginnasti e nel gruppo di controllo.

### 10.3.2 Confronto con altri sportivi d'élite.

Dalla comparazione dei risultati ottenuti nel presente lavoro con i dati ricavati dalla letteratura, relativi a sportivi d'élite, emerge quanto riportato nella tabella 10.3.

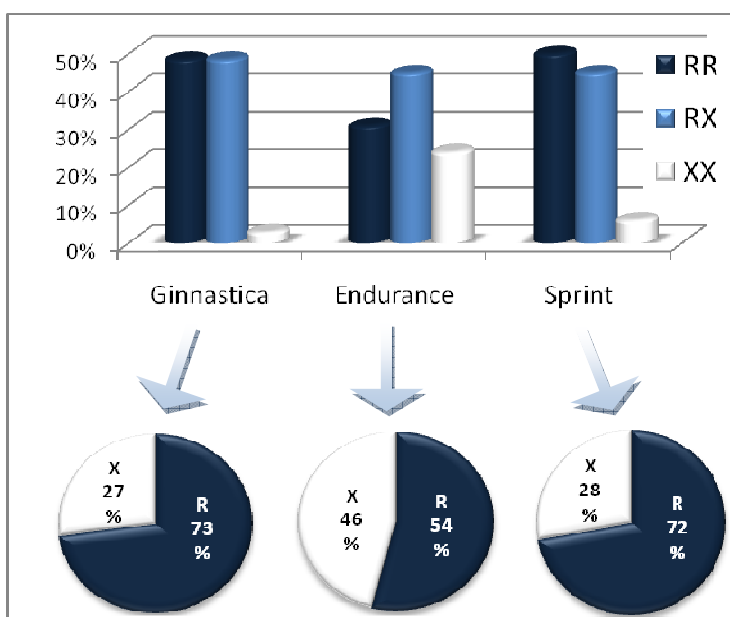
Confrontando le frequenze del polimorfismo ACTN-3 R577X tra i ginnasti e gli atleti d'élite analizzati da Yang e collaboratori (2003), emerge una differenza altamente

significativa ( $p=0.0034$ ;  $\chi^2=11.32$ ) tra il campione esaminato nel presente studio e gli atleti praticanti discipline di endurance.

**TABELLA 10.3** Distribuzione del polimorfismo ACTN-3 R577X nei ginnasti e negli atleti d'élite.

Sportivi d'élite	Freq. Genotipica % (No.)			Freq. Allelica (%)		References
	RR	RX	XX	R	X	
<b>Ginnastica</b>	17 (48.5)	17 (48.5)	1 (3)	73	27	<i>Presente Studio</i>
<b>Endurance</b>	60 (31)	88 (45)	46 (24)	54	46	<i>Yang et al., 2003</i>
<b>Sprint</b>	53 (50)	48 (45)	6 (6)	72	28	<i>Yang et al., 2003</i>

Infatti, i ginnasti mostrano una frequenza più elevata dei polimorfismi 577RR e R577X ed inferiore del polimorfismo 577XX rispetto agli atleti di endurance (Grafico 10.3). Anche le frequenze alleliche differiscono significativamente nei due gruppi di atleti ( $p=0.002$ ;  $\chi^2=12.03$ ). I ginnasti si caratterizzano infatti per un'elevata frequenza dell'allele 577R rispetto agli atleti praticanti discipline di endurance (Grafico 10.3). Viceversa, non si riscontrano differenze nella distribuzione delle frequenze alleliche e genotipiche, per il locus

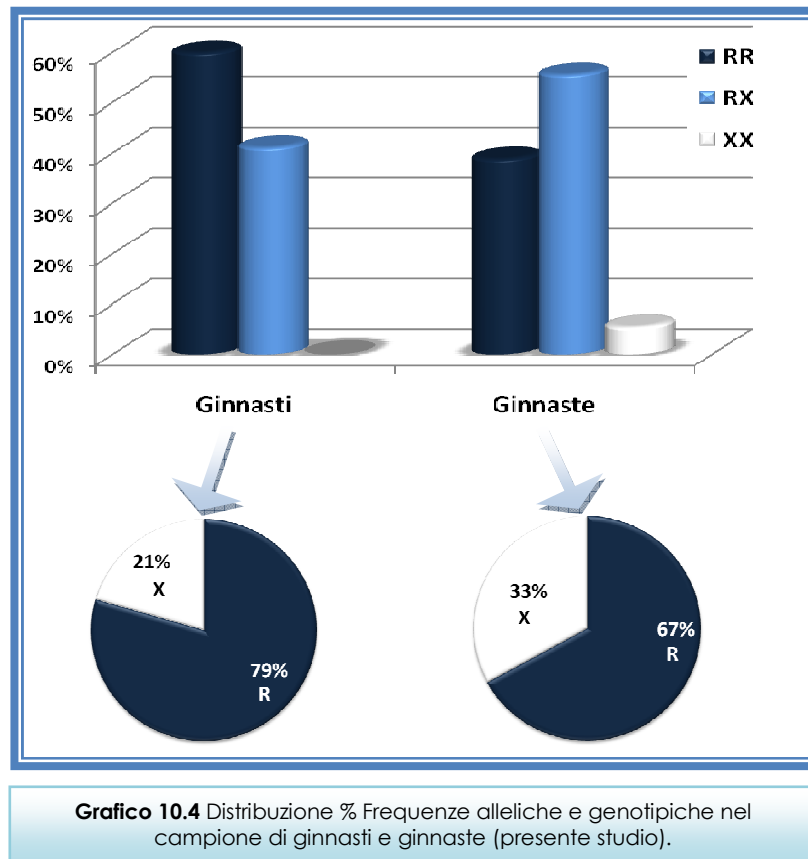


**Grafico 10.3** Distribuzione % Frequenze alleliche e genotipiche nel campione di ginnasti ed in atleti d'élite (Yang et al., 2003).

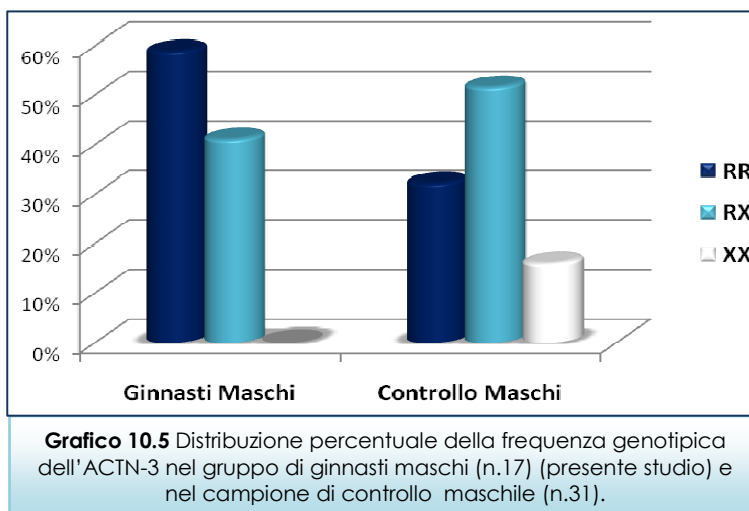
considerato, tra ginnasti e atleti d'élite praticanti discipline di Sprint (Grafico 10.3). E' interessante notare, invece, la similarità relativa alla distribuzione allelica percentuale tra ginnasti e atleti di Sprint (Ginnasti: R=73% ; X=27% - Atleti di Sprint: R=72% X=28%).

### 10.3.3 Confronto tra ginnasti maschi e femmine.

Dal confronto tra ginnasti maschi e femmine non è emersa alcuna differenza significativa nella distribuzione delle frequenze genotipiche ed alleliche (maschi: RR=58.9%; RX=41.1% e XX=0%; R=79.5%; X=20.5% vs femmine RR=38.8%; RX=55.5% e XX=5.5%; R=66.6%; X=33.4% ), anche se si evidenzia una maggiore frequenza dell'allele 577R nei ginnasti rispetto alle ginnaste (Grafico 10.4).



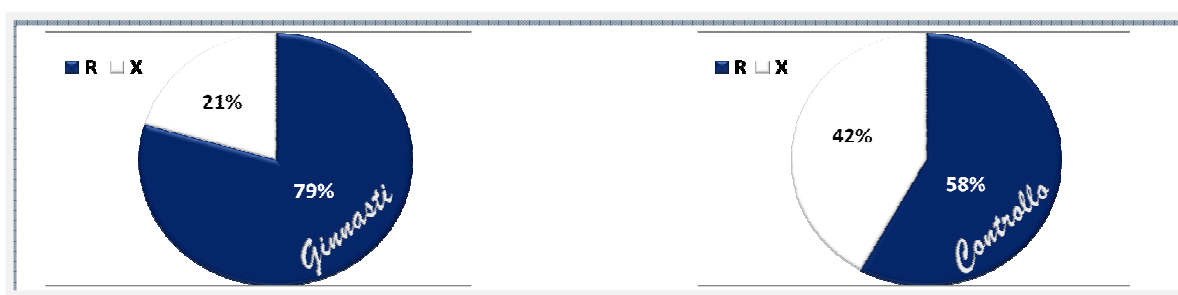
### 10.3.4 Distribuzione Allelica e Genotipica nei maschi.



I grafici 10.5 e 10.6 mostrano rispettivamente le frequenze genotipiche ed alleliche nel campione di ginnasti maschi e nel gruppo di controllo formato da soggetti dello stesso sesso. Si sono riscontrate differenze significative ( $p=0.037$ ;

$\chi^2=6.55$ ) nella distribuzione delle frequenze genotipiche tra ginnasti (RR=58.9%; RX=41.1% e XX=0%) e gruppo di controllo (RR=32.2%; RX=51.6%; XX=16.1% (Grafico 10.5).

I ginnasti presentano, infatti, una frequenza più elevata del genotipo 577RR ed inferiore del genotipo 577XX rispetto al gruppo di controllo. Nessuno dei ginnasti esaminati presentava l'omozigosità per l'allele 577X. Infine, si sono evidenziate frequenze significativamente ( $p=0.042$ ;  $\chi^2=6.30$ ) più elevate dell'allele 577R e più basse dell'allele 577X nei ginnasti rispetto al controllo (rispettivamente R=79.5%; X=20.5% vs R=58%; X=42%) (Grafici 10.6).

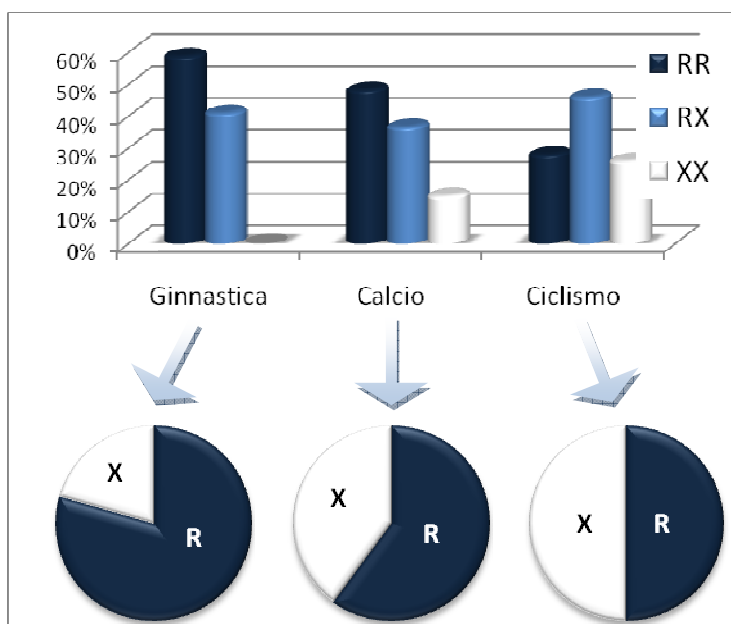


**Grafico 10.6** Distribuzione percentuale della frequenza allelica dell'ACTN-3 nel gruppo di ginnasti (n.17) (presente studio) e nel campione di controllo (n.53).

### ***Confronto con atleti d'elite di sesso maschile.***

Confrontando le frequenze del polimorfismo ACTN-3 R577X tra i ginnasti e gli atleti maschi d'elite analizzati da Yang e collaboratori (2003), emerge una differenza altamente significativa ( $p=0.004$ ;  $\chi^2=11.0$ ) tra il campione esaminato nel presente studio e gli atleti praticanti discipline di endurance. Infatti, i ginnasti mostrano una frequenza più elevata dei polimorfismi 577RR e R577X ed inferiore del polimorfismo 577XX rispetto agli atleti di endurance (ginnasti: RR=58.9%; RX=41.1%; XX=0% vs endurance: RR=28%; RX=52%; XX=20%). Anche le frequenze alleliche differiscono significativamente nei due gruppi di atleti ( $p=0.005$ ;  $\chi^2=10.51$ ). I ginnasti si caratterizzano infatti per un'elevata frequenza dell'allele 577R rispetto agli atleti maschi praticanti discipline di endurance (ginnasti: R=79.5%; X=20.5% vs R=54%; X=46%). Viceversa, non si riscontrano differenze nella distribuzione delle frequenze alleliche e genotipiche, per il locus considerato, tra ginnasti e atleti maschi d'elite praticanti discipline di Sprint (ginnasti: RR=58.9.5%; RX=41,1%; XX=0%; / R=79.5%; X=20.5% vs sprinters RR=53%; RX=39%; XX=8% / R= 72%; X=28%). Confrontando le frequenze del polimorfismo ACTN-3 R577X tra i ginnasti e i calciatori d'elite analizzati da Santiago e collaboratori (2008), emergono differenze

lievemente significative ( $p=0.04$ ) tra i due gruppi sia per ciò che concerne la distribuzione delle frequenze genotipiche che per quanto si riferisce alle frequenze alleliche (Grafico

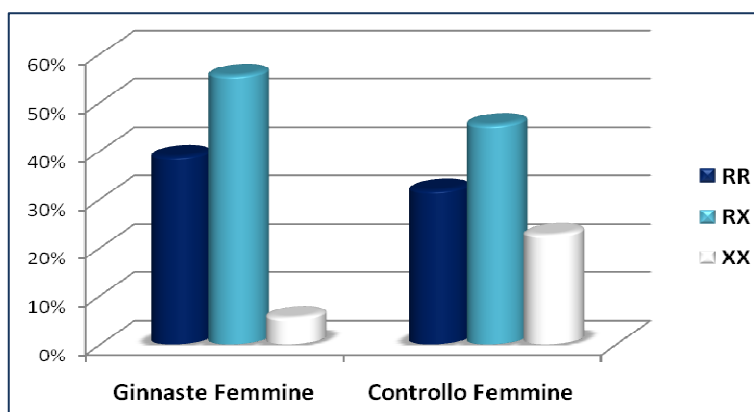


**Grafico 10.7** Distribuzione % Frequenze alleliche e genotipiche nel campione di ginnasti maschi ed in atleti d'élite praticanti ciclismo (Lucia et al., 2006) e Calcio (Santiago et al., 2008).

allelica ( $p=0.003$ ;  $\chi^2=11.47$ ) tra i due gruppi di atleti. In questo caso i ginnasti mostrano una frequenza più elevata del polimorfismo 577RR (ginnasti 58.9% vs ciclisti 28%) ed inferiore del polimorfismo 577XX (ginnasti 0% vs ciclisti 26%) rispetto ai ciclisti, dovuta ad un eccesso dell'allele R (ginnasti 79.5% vs ciclisti 66.6%) (Grafico 10.7).

10.7). Queste differenze sono dovute prevalentemente ad una bassa frequenza dell'allele 577X nei ginnasti rispetto ai calciatori (rispettivamente  $X=20.5\%$  vs  $X=40\%$ ). Viceversa, quando il gruppo di ginnasti viene confrontato con i ciclisti di endurance analizzati da Lucia e collaboratori (2006), emergono differenze altamente significative sia nella distribuzione genotipica ( $p=0.001$ ;  $\chi^2=12.43$ ) che

### 10.3.5 Distribuzione Allelica e Genotipica nelle femmine.



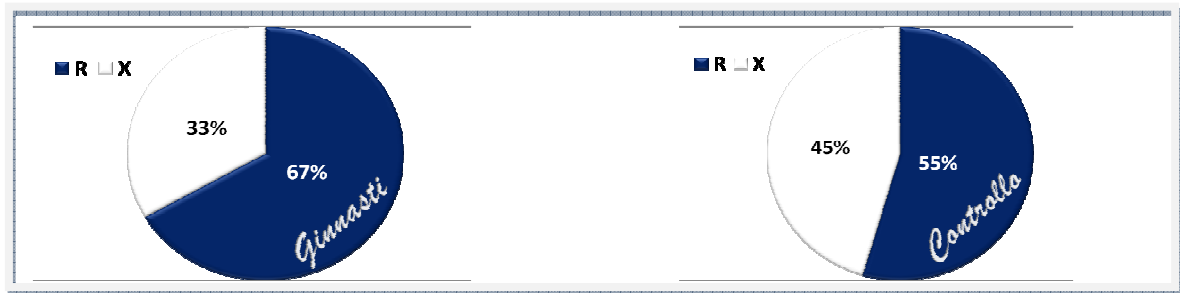
**Grafico 10.8** Distribuzione percentuale della frequenza genotipica dell'ACTN-3 nel gruppo di ginnaste femmine (n.18) (presente studio) e nel campione di controllo femminile (n.22).

frequenze genotipiche tra ginnaste ( $RR=38.8\%$ ;  $RX=55.5\%$  e  $XX=5.5\%$ ) e gruppo di

I grafici 10.8 e 10.9 mostrano rispettivamente le frequenze genotipiche ed alleliche nel campione di ginnaste e nel gruppo di controllo formato da soggetti dello stesso sesso. In questo caso, nessuna differenza significativa ( $p=0.354$ ) si è riscontrata nella distribuzione delle



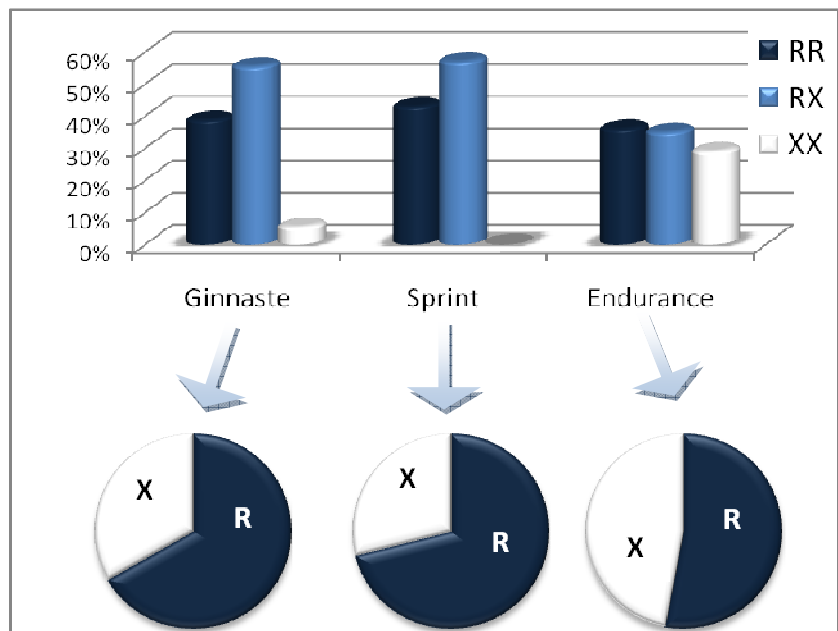
controllo (RR=31.8%; RX=45.4%; XX=22.7% (Grafico 10.8). Anche per ciò che concerne la distribuzione delle frequenze alleliche non si sono riscontrate differenze ( $p=0.358$ ) tra i due gruppi (Grafici 10.9), benché sia evidente una frequenza più elevata dell'allele 577R nelle ginnaste (R=66.6%) rispetto al controllo (R=54.5%).



**Grafico 10.9** Distribuzione percentuale della frequenza allelica dell'ACTN-3 nel gruppo di ginnaste (n.18) (presente studio) e nel campione di controllo femminile (n.22).

#### *Confronto con atleti di sesso femminile.*

Confrontando le frequenze del polimorfismo ACTN-3 R577X tra le ginnaste e le atlete femmine d'élite analizzate da Yang e collaboratori (2003), non emergono differenze significative ( $p=0.23$ ) tra il campione esaminato nel presente studio e le atlete praticanti discipline di endurance. Le ginnaste presentano, comunque, una frequenza minore del genotipo XX (ginnaste 5.5% vs atlete di endurance 29%) rispetto alle atlete di endurance, dovuta ad una più elevata frequenza, nelle ginnaste, dell'allele 577R (ginnaste 66.6% vs endurance 53%). Anche dal confronto con le atlete praticanti discipline di sprint non si riscontrano differenze nella distribuzione delle



**Grafico 10.10** Distribuzione % Frequenze alleliche e genotipiche nel campione di ginnaste ed in atlete d'élite (Yang et al., 2003).

frequenze alleliche e genotipiche, per il locus considerato ( $p>0.05$ ) (Grafico 10.10). In quest'ultimo caso, appare opportuno evidenziare come, rispetto alle atlete praticanti

discipline di endurance, le differenze nella distribuzione delle frequenze genotipiche (ginnaste: RR=38.8%; RX=55.5%; XX=5.5% vs atlete di sprint: RR=43%; RX=57%; XX=0%) ed alleliche (ginnaste: R=66.6%; X=33.3% vs atlete di sprint: R=71%; X=29%) tra ginnaste ed atlete di sprint divengono meno marcate (Grafico 10.10).

#### 10.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI

Recenti studi hanno suggerito che la proteina  $\alpha$ -Atn3 possa influenzare la funzionalità muscolare e il successo nello sport.

Non è stata descritta nessuna differenza significativa, nella distribuzione delle frequenze alleliche e genotipiche del polimorfismo ACTN-3 R577X, tra uomini e donne nella popolazione generale (*Clarkson et al., 2005; Yang et al., 2003*). Viceversa, una specifica relazione con il sesso è stata riportata tra genotipo dell'ACTN-3 e performance atletica o muscolare (*Clarkson et al., 2005; Lucia et al., 2006; MacArthur and North, 2005; Niemi and Majamaa, 2005; Yang et al., 2003*).

Lo scopo del presente lavoro è stato quello di testare le associazioni tra il polimorfismo ACTN-3 R577X con la performance d'élite in 35 atleti delle Squadre Nazionali Italiane di Ginnastica Artistica.

Si sono riscontrate differenze significative nella distribuzione delle frequenze genotipiche tra ginnasti (maschi e femmine) e gruppo di controllo. I ginnasti hanno mostrato, infatti, una frequenza più elevata del polimorfismo 577RR ed inferiore del polimorfismo 577XX, rispetto al controllo, dovuta ad un eccesso dell'allele 577R. La distribuzione della frequenza del genotipo ACTN-3 R577X riscontrata nei ginnasti è risultata simile a quella degli atleti praticanti discipline di sprint e differente da quella riscontrata tra gli atleti praticanti discipline di endurance (*Yang et al., 2003*).

Quando il campione di ginnasti è stato suddiviso in relazione al sesso, si è evidenziata una stabilizzazione delle differenze nella distribuzione delle frequenze alleliche e genotipiche tra ginnasti maschi, campione di controllo formato da soggetti dello stesso sesso ( $p=0.03$ ), ed atleti maschi d'élite praticanti discipline di endurance ( $p<0.01$ ) (*Yang et al., 2003; Lucia et al., 2006*). Una lieve differenza si è riscontrata, per il locus in argomento, tra ginnasti e calciatori d'élite ( $p=0.04$ ) (*Santiago et al., 2008*), mentre nessuna differenza ( $p<0.05$ ) si è evidenziata tra ginnasti ed atleti maschi praticanti discipline di sprint (*Yang et al., 2003*).

Tutti i ginnasti maschi esaminati hanno presentato almeno una copia dell'allele 577R (associato alla presenza della proteina  $\alpha$ -actinina-3).

Risultati diversi si sono ottenuti invece per le ginnaste, la cui distribuzione allelica e genotipica non si è differenziata da quella del campione di controllo formato da soggetti dello stesso sesso, dalle atlete praticanti discipline di endurance e dalle atlete praticanti discipline di sprint ( $p>0.05$ ) (Yang *et al.*, 2003).

In quest'ultimo gruppo di sportive d'élite si evidenzia però una maggiore somiglianza, nella distribuzione delle frequenze alleliche e genotipiche, con il gruppo di ginnaste, rispetto a quanto si è potuto osservare nella distribuzione delle frequenze tra ginnaste ed atlete praticanti discipline di endurance (Yang *et al.*, 2003).

La differenza riscontrata nella distribuzione allelica e genotipica tra ginnasti, maschi e femmine, rispetto al campione di controllo, suggerisce che l'effetto del genotipo ACTN-3 sulla performance sportiva potrebbe essere differente tra i due sessi, come evidenziato anche da altri autori (Clarkson *et al.*, 2005; Lucia *et al.*, 2006; MacArthur and North, 2005; Niemi and Majamaa, 2005; Yang *et al.*, 2003). Yang e collaboratori (2003) hanno ipotizzato che nei maschi gli effetti della proteina  $\alpha$ -actinina-3 non siano importanti quanto per le femmine, a causa della forte influenza degli ormoni androgeni che apporterebbero un contributo maggiore alla performance sportiva dei maschi rispetto a quella delle femmine. Per contro, nel nostro lavoro, abbiamo riscontrato una frequenza significativamente più elevata dell'allele R, rispetto al gruppo controllo, solo nei ginnasti maschi.

Si potrebbe ipotizzare che questa differenza tra ginnasti e ginnaste rispetto ai gruppi di controllo, possa esser dovuta ad un maggior vantaggio conferito dalla proteina  $\alpha$ -actinina-3 alla performance ginnica maschile che, come è noto, richiede un maggiore sviluppo di forza muscolare rispetto a quella femminile.

In letteratura, è stato descritto che la deficienza della proteina  $\alpha$ -actinina-3 potrebbe rappresentare una condizione di vantaggio per le atlete di endurance, mentre la presenza dell'  $\alpha$ -actinina-3 nel tessuto muscolare sembrerebbe conferire effetti positivi agli atleti di entrambi i sessi praticanti discipline di sprint e potenza (Paparini *et al.*, 2007).

Nel nostro campione, anche se non si sono riscontrate differenze significative tra ginnaste e popolazione non-sportiva per ciò che concerne la distribuzione delle frequenze alleliche e genotipiche, occorre evidenziare che solo una ginnasta ha presentato l'omozigotà per l'allele 577X e che la frequenza dell'allele 577R si è presentata comunque elevata (66.6%).

In conclusione, nella presente indagine si è evidenziata una forte associazione tra polimorfismo del gene ACTN-3 R577X e performance ginnica d'élite maschile.

Nelle ginnaste, benché non si siano riscontrate differenze significative nella distribuzione delle frequenze del polimorfismo in argomento rispetto alla popolazione non sportiva, si è manifestata una tendenza orientata ad un genotipo ACTN-3 simile a quello riscontrato nelle atlete d'élite praticanti discipline di Sprint (*Yang et al., 2003*).

In considerazione dei risultati ottenuti ed analizzata la natura della performance sportiva nella ginnastica artistica (disciplina caratterizzata dall'esecuzione di esercizi prevalentemente acrobatici che richiedono lo sviluppo di forti contrazioni muscolari ad alte velocità), si può concludere che il ruolo assunto dalla proteina alfa-actinina 3 nel favorire la performance d'élite di sprint e potenza (*Yang. Et al., 2003; Niemi e Majamaa, 2005*) possa essere il medesimo anche per la ginnastica artistica maschile.

Non si esclude che la proteina alfa-actinina 3 possa avvantaggiare anche la performance d'élite nella ginnastica artistica femminile, anche se in misura minore rispetto a quanto osservato per la performance ginnica maschile.

Sono pertanto necessarie ulteriori indagini che prendano in considerazione un numero maggiore di soggetti da sottoporre ad analisi e che siano mirate a verificare i “potenziali” differenti effetti della proteina  $\alpha$ -actinina-3 sulla performance d'élite maschile e femminile nella ginnastica artistica.

*Relazioni tra fenotipo e genotipo in ginnasti d'elite*



## 11. RELAZIONI TRA FENOTIPO E GENOTIPO IN GINNASTI D'ELITE

### 11.1 INTRODUZIONE

Come già sottolineato nel corso della presente trattazione, la performance sportiva d'elite rappresenta un insieme complesso di fattori interagenti tra loro i quali, a loro volta, dipendono da una varietà di sistemi e meccanismi biologici. Tali fattori, possono essere di origine metabolica (substrato energetico prevalentemente utilizzato nel corso della performance) o anatomica o strutturale (massa ossea, struttura fisica, massa muscolare, elasticità tendinea, tipi di fibre muscolari, lunghezza degli arti etc.). Inoltre, tali fattori sono in relazione con l'apparato scheletrico, muscolare, respiratorio, cardiocircolatorio o alle funzioni neurologiche e psicologiche.

Il fenotipo scaturisce dall'interazione tra fattori genetici e ambientali, includendo tra questi il tipo di dieta condotta nel corso della vita, l'attività fisica, le infezioni, gli incidenti, i danni provocati dall'uso di tabacco etc.

Studi condotti sui gemelli hanno mostrato che i fattori genetici contribuiscono al 60-80% della varianza della massa muscolare scheletrica (*Seeman et al., 1996*), al 60-90% della varianza della massa ossea a livello del collo del femore e della colonna vertebrale lombare (*Pocock et al., 1987*) ed al più del 50% della varianza nella massa ventricolare sinistra (*Swan et al., 2003*).

Tra i marcatori genetici studiati per essere correlati a manifestazioni fenotipiche inerenti il sistema muscolare rientrano il gene ACE ed il gene ACTN-3, di cui si è in precedenza trattato.

Il gene ACE, attraverso l'azione dell'angiotensina II (ANG II), sembra essere di estrema importanza nel mediare la crescita muscolare scheletrica in risposta al caricamento meccanico (*Gordon et al., 2001*). Hopkinson e colleghi (2004) hanno recentemente riportato un'associazione tra allele D del gene ACE e forza muscolare scheletrica tra pazienti con patologie polmonari croniche. Anche Folland e collaboratori (2000) hanno identificato un'associazione tra allele D del gene ACE e incremento della forza muscolare del muscolo quadricipite femorale in risposta ad un programma di allenamento attuato su un gruppo di soggetti sani e non allenati. Tuttavia, questo effetto non è stato confermato da Thomis e colleghi (2004) in uno studio sulla flessione del gomito condotto su 57 gemelli.

Studiare l'effetto del genotipo ACE sul tipo di fibre muscolari potrebbe fornire un indizio di come tali associazioni con la prestazione muscolare possano attuarsi. Il muscolo

scheletrico è composto da una varietà di tipi di fibre muscolari caratterizzate da diverse proprietà metaboliche e contrattili. Queste sono classificate come “*slow-twitch*” (fibre di tipo I, a contrazione lenta) oppure “*fast-twitch*” (fibre di tipo IIa, IIb e IIx, a contrazione rapida) sulla base della loro colorazione istochimica per l’attività della miosina ATPasi. Le fibre “*slow-twitch*” sono più efficienti delle “*fast-twitch*” durante le contrazioni a bassa velocità. Su questa base, Zhang e collaboratori (2003) hanno ipotizzato, analizzando 41 giovani sani volontari e non allenati, che l’allele I del polimorfismo ACE I/D potesse essere associato ad un aumento del numero di fibre “*slow-twitch*”. Le fibre muscolari sono state rilevate dal muscolo vasto laterale mediante biopsia muscolare. I soggetti con genotipo II hanno mostrato una percentuale significativamente più elevata di fibre di tipo I ( $50,1 \pm 13,9\%$  vs  $30,5 \pm 13,3\%$ ) ed inferiore di fibre di tipo IIb ( $16,2 \pm 6,6\%$  vs  $32,9 \pm 7,4\%$ ) rispetto ai soggetti con genotipo DD.

Proprio in relazione alla diversa percentuale di fibre muscolari che caratterizzano gli individui s’inserisce anche lo studio del gene ACTN-3, già precedentemente descritto.

Le varianti dell’ACTN-3 potrebbero configurarsi come uno dei polimorfismi genetici che contribuiscono all’ereditarietà della distribuzione del tipo di fibre muscolari, per mezzo della sua interazione con la calcineurina (Serrano *et al.*, 2001). Recentemente Vicent e colleghi (2007) hanno cercato di quantificare l’associazione tra polimorfismo R577X e distribuzione del tipo di fibre muscolari. Gli autori hanno esaminato 90 soggetti maschi di età compresa tra i 18 ed i 29. Venti soggetti con genotipo XX e venti soggetti con genotipo RR sono stati sottoposti a biopsia muscolare al fine di rilevare la distribuzione delle fibre muscolari. La percentuale della superficie e del numero fibre di tipo IIx (“*fast-twitch*”) era superiore nei soggetti con genotipo RR rispetto ai soggetti con genotipo XX ( $p < 0.05$ ) e il contenuto di alfa-Actinina-3 era sistematicamente più elevato nelle fibre di tipo IIx in confronto alle fibre di tipo IIa (fibre veloci, intermedie tra il tipo I ed il tipo IIx).

Lo studio condotto da Clarkson e collaboratori (2005) ha invece cercato di studiare le associazioni tra genotipo dell’ACTN-3, massa muscolare (sezione trasversa del muscolo bicipite brachiale rilevata attraverso risonanza magnetica) e forza, isometrica e dinamica, durante la flessione-estensione del gomito in un ampio gruppo di donne (n.355) e uomini (n.247) sottoposti ad un programma di allenamento della durata di 12 settimane.

Gli autori non evidenziano alcuna associazione tra genotipo ACTN-3 R577X e fenotipo muscolare negli uomini. Nelle donne omozigoti per l’allele ACTN-3 577X (XX) si osserva invece, a livello basale, una minore sezione muscolare trasversa rispetto alle donne



eterozigoti ( $p < 0.05$ ). Al termine del protocollo di allenamento, le donne omozigoti per l'allele mutante (577X) evidenziano inoltre un maggiore incremento della forza dinamica, assoluta e relativa, durante la flessione-estensione del gomito rispetto alle donne omozigoti per l'allele 577R. Inoltre l'associazione appare poi indipendente dal volume di allenamento; infatti circa il 2% della sezione trasversale del muscolo a livello basale e la risposta del muscolo a seguito del protocollo di allenamento poteva essere attribuibile al genotipo ACTN-3 (likelihood-ratio test P value,  $P = 0.01$ ), suggerendo la possibilità di inclusione dell'ACTN-3 tra i geni potenzialmente candidati ad influenzare le variazioni della performance muscolare e della sua risposta all'esercizio fisico.

Preso atto delle considerazioni presenti in letteratura circa la possibile associazione dei marcatori ACE e ACTN-3 con i parametri relativi alla forza muscolare, abbiamo tentato di verificare le possibili relazioni tra genotipi dell'ACE e dell'ACTN-3 con la massa e la forza muscolare nei ginnasti italiani d'élite.

A causa del ristretto numero di soggetti indagati, soprattutto in riferimento alla suddivisione dei diversi genotipi, quest'analisi deve essere considerata come un tentativo prettamente esplorativo ed improntato al fornire degli spunti utili a future sperimentazioni attraverso le quali si auspica un incremento del numero di soggetti da sottoporre ad analisi.

## 11.2 MATERIALI E METODI

Sono stati esaminati **59 ginnasti d'élite** (femmine n.42; maschi n.17) di età compresa tra i 9.5 e i 28 anni appartenenti alle Squadre Nazionali Italiane di Ginnastica Artistica (2005-2007).

**Protocollo di rilevazione e variabili.** Il protocollo di valutazione antropometrica attuato è illustrato nel Capitolo 5 della presente trattazione. Per i ginnasti maschi si sono anche calcolate l'Area Muscolare del Braccio (AMA) (Frisancho, 1990), l'Area Muscolare della Coscia (TMA) (Siri, 1961) e l'Area Muscolare del Polpaccio (CMA) (Forbes, 1978; Frisancho, 1990; Malina, 1995).

Per la rilevazione della forza muscolare dei muscoli flessori delle dita è stato utilizzato il Takei Handgrip Dynamometer (Hanten et al., 1999; Nitschke, 1999). La massima espressione della forza muscolare è stata registrata per ciascuna mano, destra e sinistra, come il più alto valore ottenuto nel corso di tre prove test. Le ginnaste sono inoltre state sottoposte ad ulteriori due test per la misurazione della forza esplosiva dei muscoli

estensori degli arti inferiori rilevata attraverso la Pedana di Bosco (ERGOJUMP, ditta Globus) a circuito chiuso (*Bosco et al., 1983*). Sono state effettuate tre prove per ciascun test. Si è presa in considerazione la media ottenuta dai soggetti nel corso delle tre prove per ciascun test. I test motori utilizzati per il presente lavoro sono stati lo Squat Jump (SJ) ed il Contro Movimento Jump (CMJ) (*Bosco et al., 1983*). Per entrambi i test sono stati registrati sia il tempo di permanenza del corpo in volo (SJ-F; CMJ-F) sia l'altezza raggiunta dai soggetti durante i salti (SJ-H; CMJ-H).

**Metodi di Laboratorio.** Il DNA è stato estratto da ciascun soggetto mediante tampone salivare con il Kit fornito dalla ditta Qiagen. Le tecniche di analisi dei marcatori ACE e ACTN-3 sono illustrate rispettivamente nei Capitoli 9 e 10 della presente trattazione.

**Analisi Statistica.** L'analisi delle frequenze alleliche e genotipiche è stata condotta come descritto nel Capitolo 9 del presente lavoro. Gli effetti dei genotipi ACE e ACTN-3 sui parametri relativi alla massa ed alla forza muscolare (con il peso, la statura e l'età come covariate) sono stati misurati utilizzando l'ANCOVA. I dati sono espressi come media e deviazione standard (SD). Le analisi delle frequenze alleliche e genotipiche si è condotta per mezzo del programma Genepop (V.4), mentre tutti gli altri dati sono stati analizzati utilizzando il programma STATISTICA (V.7).

### 11.3 RISULTATI

Le caratteristiche generali del campione, suddiviso in relazione al sesso ed ai differenti genotipi relativi ai marcatori ACE e ACTN-3, sono riportate nella tabella 11.1.

Si sono riscontrate differenze significative tra i sottogruppi del genotipo ACE unicamente nei maschi, per ciò che concerne l'età (ID=16.0 anni vs DD=23.7 anni) ed il peso corporeo (ID= 56.2Kg < II=71Kg ( $p=0.04$ ); II=71kg>DD=69.3kg ( $p=0.04$ ) e tra i sottogruppi del genotipo ACTN-3 unicamente nelle femmine, relativamente all'età (RR=14.5 anni vs XX=11.9 anni ( $p=0.008$ ) ed al volume di allenamento settimanale (RX=30.8 h/sett. vs XX=24.6 h/sett. ( $p=0.006$ ).

#### *Associazione tra genotipo ACE e indicatori di sviluppo muscolare nelle ginnaste.*

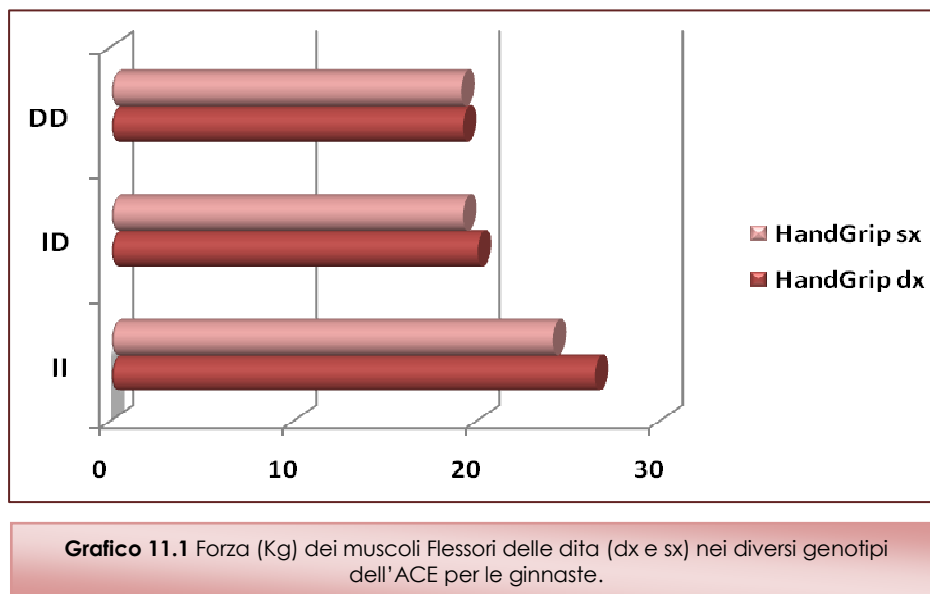
La tabella 11.2 mostra i parametri inerenti la massa e la forza muscolare delle atlete suddivisi in relazione ai tre diversi genotipi dell'ACE (I/I; I/D; D/D). Dai risultati dell'analisi della covarianza per gli effetti del genotipo ACE I/D sui parametri rilevati

TABELLA 11.1 Caratteristiche generali dei ginnasti suddivisi in relazione al sesso ed ai genotipi ACE e ACTN-3								
FEMMINE								
	ACE				ACTN-3			
	II (n=4)	ID (n=19)	DD (n=16)	P	RR (n=13)	RX (n=17)	XX (n=11)	P
Statura (cm)	150.4 (9.0)	144.7 (9.4)	141.1 (7.1)	P>0.05	148.0 (9.4)	144.6 (8.8)	140.3 (8.2)	P>0.05
Peso (Kg)	39.3 (8.2)	37.1 (6.3)	34.5 (6.2)	P>0.05	41.3 (8.6)	37.5 (6.7)	32.0 (3.8)	P>0.05
Età (anni)	13.1 (2.5)	13.5 (1.8)	12.8 (2.7)	P>0.05	14.5* (3.1)	13.5 (2.0)	11.9* (1.0)	*P=0.008
Allenamento (h/set.)	26.5 (9.8)	28.7 (6.2)	26.7 (6.5)	P>0.05	27.30 (6.9)	30.8* (6.2)	24.6* (6.4)	*P=0.006
MASCHI								
	ACE				ACTN-3			
	II (n=2)	ID (n=6)	DD (n=9)	P	RR (n=10)	RX (n=7)	XX (n=0)	P
Statura (cm)	173.4 (7.0)	163.3 (12.7)	167.7 (5.1)	P>0.05	164.7 (5.5)	169.6 (5.5)	—	P>0.05
Peso (Kg)	71*§ (1.4)	56.2§ (12.0)	69.3* (5.6)	*P=0.04 §P=0.01	63.1 (12.5)	66.9 (5.4)	—	P>0.05
Età (anni)	22.5 (7.7)	16* (2.7)	23.7* (4.0)	*P=0.01	18.9 (4.6)	21.7 (5.0)	—	P>0.05
Allenamento (h/set.)	33.0 (4.2)	23.5 (7.2)	30.8 (4.3)	P>0.05	27.9 (6.3)	27 (6.3)	—	P>0.05

TABELLA 11.2 Relazioni tra fenotipo muscolare e genotipo ACE nelle ginnaste (Analisi Covarianza).

FEMMINE				
	ACE			P
	I/I (n=4)	I/D (n=19)	D/D (n=16)	
Mesomorfia	4.1 (0.5)	4.4 (0.6)	4.5 (0.8)	P>0.05
Massa Magra (%)	88.5 (0.1)	87.9 (1.2)	88.2 (0.9)	P<0.05
Handgrip dx (Kg)	26.5 (6.4)*§	20.1 (3.9)§	19.3 (2.6)*	*p=0.0003; §p=0.0007
Handgrip sx (Kg)	24.2 (6.3)*§	19.1 (3.6)§	19.2 (3.6)*	*p=0.0004; §p=0.0004
SJ-F (sec.)	0.50 (0.04)	0.46 (0.02)	0.47 (0.05)	P>0.05
SJ-H (cm)	32 (5.0)	26 (3.0)	28 (6.0)	P>0.05
CMJ-F (sec.)	0.49 (0.03)	0.50 (0.04)	0.48 (0.03)	P>0.05
CMJ-H (cm)	30 (4.0)	31 (5.0)*	28 (03.0)*	P>0.05

emergono differenze significative solo per ciò che concerne la forza dei muscoli flessori delle dita. In particolare, i soggetti con genotipo II mostrano valori di forza significativamente superiori (Grafico 11.1), sia rispetto ai soggetti con genotipo I/D ( $p=0.0007$ ) (Handgrip II:  $dx=26.5\text{Kg}$ ;  $sx=24.2\text{Kg}$  vs Handgrip ID:  $dx=20.1\text{Kg}$ ;  $sx=19.1\text{Kg}$ ) che rispetto ai soggetti con genotipo DD ( $p=0.0004$ ) (Handgrip II:  $dx=26.5\text{Kg}$ ;  $sx=24.2\text{Kg}$  vs Handgrip DD:  $dx=19.3\text{Kg}$ ;  $sx=19.2\text{Kg}$ ).



### *Associazione genotipo ACE e indicatori di sviluppo muscolare nei ginnasti.*

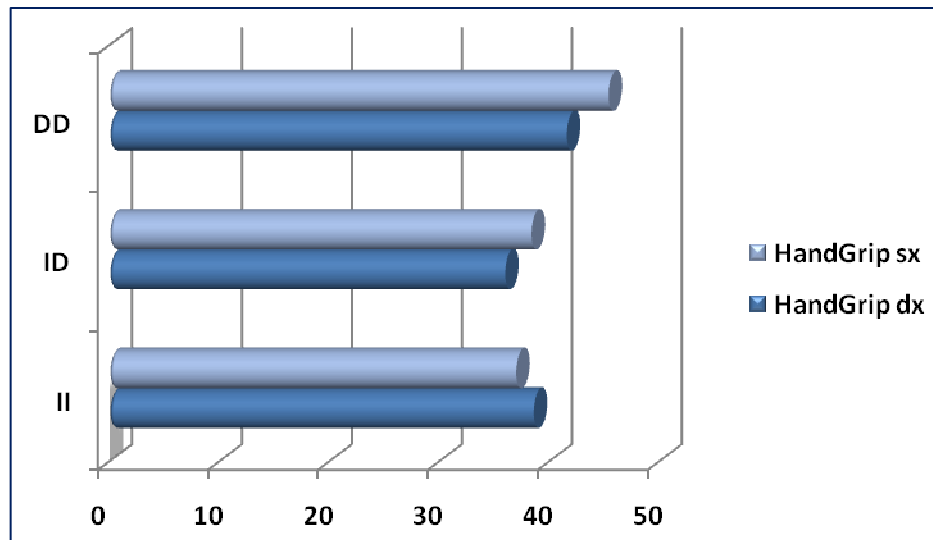
La tabella 11.3 mostra i parametri inerenti la massa e la forza muscolare degli atleti suddivisi in relazione ai tre diversi genotipi dell'ACE.

**TABELLA 11.3** Relazioni tra fenotipo muscolare e genotipo ACE nei ginnasti (Analisi Covarianza).

	MASCHI			
	ACE			P
	I/I (n=2)	I/D (n=6)	D/D (n=9)	
<b>Mesomorfia</b>	6.2 (2.0)	6.2 (0.7)	6.7 (0.7)	$P>0.05$
<b>Massa Magra (%)</b>	90.8 (0.2)	90.7 (1.7)	89.9 (1.2)	$P>0.05$
<b>Handgrip dx (Kg)</b>	38.7 (17.3)	36.1 (10.3)	41.7 (5.7)	$P>0.05$
<b>Handgrip sx (Kg)</b>	37.0 (11.3)	38.5 (11.0)	45.5 (5.5)	$P>0.05$
<b>AMA (cm<sup>2</sup>)</b>	86.06 (2.14)	57.2 (12.3)	82.3 (10.2)	$P>0.05$
<b>TMA (cm<sup>2</sup>)</b>	196.2 (13.3)	150.1 (28.4)	192.6 (12.9)	$P>0.05$
<b>CMA (cm<sup>2</sup>)</b>	93.6 (16.6)	90.6 (29.7)	97.2 (6.07)	$P>0.05$

Dai risultati dell'analisi della covarianza per gli effetti del genotipo ACE I/D sui parametri rilevati non emergono differenze significative tra i singoli sottogruppi.

Ciononostante si denota una tendenza orientata ad una maggiore espressione della forza dei muscoli flessori delle dita nei ginnasti con genotipo DD rispetto ai sottogruppi ID ed II (Grafico 11.2).



**Grafico 11.2** Forza (Kg) dei muscoli Flessori delle dita (dx e sx) nei diversi genotipi dell'ACE per i ginnasti.

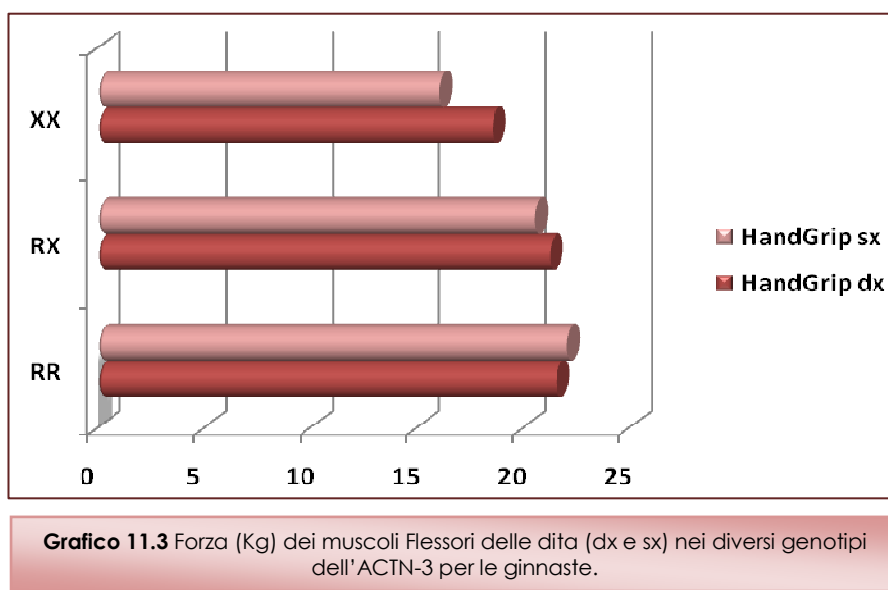
#### *Associazione genotipo ACTN-3 e indicatori di sviluppo muscolare nelle ginnaste.*

La tabella 11.4 mostra i parametri inerenti la massa e la forza muscolare delle atlete suddivisi in relazione ai tre diversi genotipi dell'ACTN-3.

**Tabella 11.4** Relazioni tra fenotipo muscolare e genotipo ACTN-3 nelle ginnaste (Analisi Covarianza).

	FEMMINE			
	ACTN-3			P
	RR (n=13)	RX (n=17)	XX (n=11)	
Mesomorfia	4.5 (0.7)	4.5 (0.7)	4.3 (0.8)	P>0.05
Massa Magra (%)	87.4 (1.2)	88.2 (1.7)	88.5 (0.4)	P>0.05
Handgrip dx (Kg)	21.6 (4.9)	21.3 (4.7)	18.6 (3.6)	P>0.05
Handgrip sx (Kg)	22.1 (5.6)	20.6 (4.1)	16.1 (2.4)	P>0.05
SJ-F (sec.)	0.47 (0.03)	0.47 (0.04)	0.46 (0.04)	P>0.05
SJ-H (cm)	28 (3.0)	28 (3.0)	26 (4.0)	P>0.05
CMJ-F (sec.)	0.48 (0.03)	0.50 (0.04)	0.49 (0.03)	P>0.05
CMJ-H (cm)	29 (3)	31 (6.0)	30 (4.0)	P>0.05

Dai risultati dell'analisi della covarianza per gli effetti del genotipo ACTN-3 R577X sui parametri rilevati non si riscontrano differenze significative tra i sottogruppi per nessuna delle variabili prese in considerazione. Solo per ciò che concerne la forza dei muscoli flessori delle dita, i soggetti con genotipo XX tendono ad avere espressioni inferiori rispetto agli altri due sottogruppi di genotipi (RX; RR), ma la differenza non è significativa (Grafico 11.3).



### *Associazione genotipo ACTN-3 e indicatori di sviluppo muscolare nei ginnasti.*

La tabella 11.5 mostra i parametri relativi alla massa e alla forza muscolare dei ginnasti suddivisi in relazione ai tre diversi genotipi dell'ACTN-3.

**TABELLA 11.5** Relazioni tra fenotipo muscolare e genotipo ACE nei ginnasti (Analisi Covarianza).

	MASCHI		
	ACTN-3		P
	RR (n=10)	RX (n=7)	
Mesomorfia	6.7 (0.7)	6.2 (1.0)	P>0.05
Massa Magra (%)	90.4 (1.6)	90.4 (0.9)	P>0.05
Handgrip dx (Kg)	39.7 (9.1)	38.6 (8.6)	P>0.05
Handgrip sx (Kg)	42.1 (9.6)	42.2 (8.0)	P>0.05
AMA (cm <sup>2</sup> )	72.3 (19.6)	72.7 (7.8)	P>0.05
TMA (cm <sup>2</sup> )	177.0 (34.9)	180.4 (16.4)	P>0.05
CMA (cm <sup>2</sup> )	89.9 (15.2)	99.4 (21.0)	P>0.05

Anche i risultati dell'analisi della covarianza per gli effetti del genotipo ACTN-3 R577X sui parametri rilevati nei maschi, non rivelano differenze significative tra i due sottogruppi per nessuna delle variabili prese in considerazione. La maggior parte dei valori relativi ai parametri rilevati risultano molto simili tra i soggetti con genotipo RR ed RX, fatta eccezione per l'area muscolare del polpaccio che appare di circa 10 cm<sup>2</sup> superiore nei ginnasti con genotipo RX rispetto agli atleti con genotipo RR, ma la differenza non è significativa.

#### **11.4 CONCLUSIONI E DISCUSSIONI**

Sulla base dei lavori presenti in letteratura, nel presente saggio si è ipotizzato che l'allele D del polimorfismo ACE I/D e l'allele R del polimorfismo ACTN-3 R577X potessero contribuire ad un maggiore sviluppo della forza e della massa muscolare in risposta all'allenamento.

Per ciò che concerne il marcatore ACE, i nostri risultati contrastano con l'ipotesi iniziale rilevando come unica associazione significativa la relazione tra allele I, nelle ginnaste, e un maggiore sviluppo della forza dei muscoli flessori delle dita (Handgrip). Viceversa, nei ginnasti maschi, non si sono riscontrate differenze significative tra i diversi sottogruppi di genotipi, ma solamente una tendenza ad una maggiore espressione di forza (Handgrip) nei ginnasti con genotipo DD rispetto ai genotipi II e ID.

Da questa indagine non emerge quindi una chiara evidenza di associazione tra polimorfismo ACE I/D e parametri muscolari. Per la maggior parte delle variabili relative alla forza ed alla massa muscolare, non abbiamo riscontrato evidenze genetiche specifiche che entrino in gioco nell'adattamento del muscolo in risposta all'allenamento.

Il limite maggiore del presente lavoro è certamente la ridotta numerosità dei soggetti analizzati. Ciò in considerazione del numero di ginnasti che compongono i diversi sottogruppi di genotipi, con particolare riferimento ai soggetti con genotipo II (n.2 maschi e n.4 femmine). I risultati evidenziano comunque la difficoltà di identificare delle associazioni di singoli geni con selezionati parametri fenotipici, come ad esempio la forza e la massa muscolare così come analizzati nel presente lavoro. Queste difficoltà sono aumentate dal fatto che lo sviluppo della forza in risposta all'allenamento è influenzata anche da sostanziali fattori che non sono esclusivamente dipendenti da effetti genetici.

In contrasto con lo studio di Folland e collaboratori (2000), Woods e colleghi (2001) hanno riportato nel loro lavoro, condotto su donne in post-menopausa, un maggiore incremento della forza dei muscoli adduttori del pollice in risposta all'allenamento nei soggetti portatori dell'allele I, indipendentemente dai cambiamenti nella sezione muscolare trasversa. Analogamente nel presente studio, l'unica associazione significativa è stata riscontrata in favore delle ginnaste con genotipo II, ma probabilmente questo è dovuto ad un'alta risposta in questo piccolo gruppo di soggetti.

Più in linea con l'ipotesi iniziale sono invece i risultati che emergono dall'analisi di associazione tra polimorfismo ACTN-3 e variabili muscolari. Infatti, benché non si siano evidenziate differenze statisticamente significative tra i differenti sottogruppi di genotipi, è emersa una tendenza per la forza dei muscoli flessori delle dita orientata verso una maggiore espressione di forza nelle ginnaste con genotipo RR e RX rispetto al sottogruppo XX. Nei maschi si è riscontrata l'assenza di omozigosità per l'allele X, e le analisi di associazione tra i genotipi RR ed RX con i parametri rilevati mostrano una certa omogeneità di risultato tra i due sottogruppi con assenza di differenze significative.

Risultati simili sono stati ottenuti da Moran e collaboratori (2007) in un recentissimo studio condotto su 992 scolari provenienti dalla Grecia centrale (n.525 maschi e 467 femmine). Gli autori non riscontrarono associazioni tra il genotipo R577X e fenotipo muscolare legato a prestazioni di sprint e potenza (HandGrip, Salto Verticale) nei maschi e nelle femmine sottoposti ad analisi.

Dai risultati ottenuti nel presente saggio emerge una mancanza di chiarezza nell'associazione tra caratteri genetici e i parametri muscolari analizzati, associazione che viceversa si è posta in risalto nel corso dei capitoli 9 e 10 della presente trattazione.

La spiegazione più plausibile a questa assenza di relazione potrebbe essere dovuta al fatto che il fenotipo di "sprint" è associato con una generazione di potenza erogata da contrazioni muscolari cicliche che si ripetono per un determinato periodo di tempo, in contrasto ad un fenotipo associato con la forza generata da una singola contrazione muscolare (SJ, CMJ, Handgrip).

Nel corso dei capitoli 9 e 10 del presente lavoro abbiamo evidenziato delle associazioni tra polimorfismi dei geni ACE e ACTN-3 e caratteristiche fenotipiche complesse, e cioè la performance nella Ginnastica Artistica. Questo risultato è coerente con i precedenti studi



che hanno riferito delle associazioni tra gli alleli ACTN-3 577R e ACE D con lo status di atleta d'elite praticante discipline di sprint.

In questo saggio, viceversa, non è emersa alcuna prova a sostegno delle ipotesi iniziali, suggerendo che i polimorfismi ACE I/D e ACTN-3 R577X influenzino la componente ciclica della performance di sprint, piuttosto che la generazione di forza e di potenza prodotte da una singola contrazione muscolare.

Queste considerazioni, anche se da ritenersi puramente indicative, come già sottolineato nel corso dell'introduzione al presente capitolo, suggeriscono la necessità di ulteriori studi indirizzati a chiarire i meccanismi molecolari mediante i quali le variazioni dell'ACE e dell'ACTN-3 possono influenzare la fisiologia muscolare.







## 12. CONCLUSIONI

Lo Sport agonistico in generale e gli atleti che conseguono risultati eccellenti in particolare continuano ad essere al centro dell'attenzione dei mass media mondiali. Molti atleti modellano la loro attività ed il loro stile di vita per raggiungere, attraverso lo sport, la loro realizzazione personale.

Da parte loro gli scienziati dello sport sono impegnati nel ricercare evidenze scientifiche, piuttosto che spiegazioni aneddotiche, che siano in grado di chiarire perché e come si possa pervenire ai massimi risultati nelle varie discipline sportive, cioè quali siano i fattori che concorrono a formare un atleta d'élite.

Vi è una vasta letteratura che è stata prodotta nel tentare di individuare e di descrivere quali fossero, nelle varie discipline sportive, le caratteristiche morfologiche, fisiologiche e motorie degli atleti che erano pervenuti al top dei risultati (*Carter, 1984; Babic e Viskic-Stelec, 2002; Malina, 2007*).

I pre-requisiti del successo atletico in molti sport, si fondano in larga misura sulle caratteristiche fisiche, includendo tra queste le dimensioni antropometriche, il somatotipo e la composizione corporea.

Studi condotti su atleti ed atlete di livello nazionale, internazionale ed Olimpico mostrano differenze costanti nelle caratteristiche morfologiche, che variano a seconda dello sport praticato (*Carter et al., 1990; Tunner, 1964*).

Ciò è particolarmente evidente negli sport artistici, in cui la prestazione sportiva è soggetta alla valutazione di un corpo giudicante e l'aspetto estetico assume notevole rilevanza.

Sin dagli anni '80 sono stati condotti lavori scientifici nel campo dell'antropometria applicata alla ginnastica artistica di alto livello (*Lopez et al., 1979; Dzhabarov e Vasil'chuk, 1987; Claessens et al., 1991a*). Da questi appare evidente come la ginnastica artistica risulti essere uno sport che caratterizza notevolmente l'atleta dal punto di vista morfologico.

Alcune ricerche suggeriscono che i ginnasti di alto livello, nel momento in cui iniziano la pratica dell'attività ginnica, siano già in possesso di particolari basi determinate da un genotipo che li favorisce nella pratica di tale sport (*Richards, 1999; Bass et al., 2000*).

In questo senso anche la linea di tendenza del Codice dei Punteggi emanato dalla Federazione Internazionale sembra indirizzarsi verso una selezione marcata dei soggetti in grado di soddisfare le esigenze in esso contenute. Infatti, la propensione nel corso degli

ultimi decenni verso l'implementazione di sempre maggiori componenti acrobatiche, sembra consolidarsi anno dopo anno, aumentando in tal modo vertiginosamente le difficoltà eseguibili ai singoli attrezzi.

L'importanza di una morfologia corporea "ginnico-specifica", appropriata per giungere ai livelli più alti nelle competizioni della ginnastica artistica, è ben documentata (Claessens et al., 1991a; Claessens, 1999b).

Riuscire ad individuare i fattori morfologici che potrebbero costituire un vantaggio in termini di prestazione, è utilissimo anche per la selezione dei giovani talenti, soprattutto per la ginnastica artistica (Bloomfield, 1992; Komadel, 1988; Regnier et al., 1993).

In questa disciplina, la richiesta di una struttura fisica adeguata trova riscontro anche nell'importante biomeccanico che condiziona significativamente la prestazione.

Le analisi antropometriche condotte sui ginnasti d'élite evidenziano in linea generale caratteristiche fisico-strutturali molto peculiari, quali: bassa statura, spalle ampie e fianchi stretti, una bassa percentuale di massa grassa oltre che una muscolatura decisamente sviluppata (Claessens et al., 1991a, 1991b, 1992, Claessens, 1997, 1999b; Malina et al., 1999; Daly et al., 2000; Brendon and Klentrou 2003).

Le ginnaste, a differenza dei colleghi maschi, (Weimann, 2002; Shrier, 2004) sono anche caratterizzate da una maturazione ritardata rispetto alle donne della stessa età (Malina, 1999; Claessens, 1999b).

Nel corso degli ultimi anni si è assistito ad un importante dibattito in merito agli allenamenti ginnici di alta specializzazione, effettuati durante l'infanzia e l'adolescenza, come fattore che potesse pregiudicare la normale crescita delle giovani ginnaste (Baxter-Jones et al., 2003; Caine et al., 2001, 2003; Daly et al., 2002). Diversi studi hanno evidenziato che gli allenamenti ad elevata intensità nella ginnastica artistica, quando associati a diete con basso contenuto calorico, possano alterare i normali ritmi di crescita e di maturazione in alcune ginnaste (Bass et al., 2000; Lindholm et al., 1994; Theintz et al., 1993). Tuttavia, non è stato ancora dimostrato un rapporto di causa-effetto tra l'elevato regime di allenamento nella ginnastica artistica ed un'alterazione dell'accrescimento.

La Ginnastica Artistica è una disciplina sportiva tra le più complesse dell'attuale panorama sportivo. Per il raggiungimento dello status di ginnasta d'élite, gli atleti devono dedicare molti anni della loro vita a duri allenamenti, sin dalla giovane età.

In questo senso, risulta fondamentale un approccio scientifico alla teoria dell'allenamento.

Definire lo sviluppo psico-fisico dei ginnasti, la loro caratterizzazione fisiologica, psicologica, genotipica e antropometrica, applicare allo studio del movimento ginnico le nuove tecnologie del campo biomeccanico, significa ottimizzare i risultati riducendo al massimo il rischio individuale di sviluppare infortuni e abbandoni precoci dall'attività.

Ciononostante, non è frequente reperire nella letteratura articoli dettagliati che riguardino questa disciplina sportiva.

In particolare sotto l'aspetto genetico, nessun lavoro si è focalizzato selettivamente sull'analisi dei ginnasti d'élite e della loro performance sportiva. In passato la ricerca si è focalizzata sullo studio delle basi genetiche dei tratti complessi legati alla performance sportiva generale, mediante l'analisi delle somiglianze familiari realizzata quantificando, attraverso opportune tecniche statistiche, la frazione di varianza di un fenotipo, la quale può essere attribuita ai fattori genetici e a quelli non genetici.

Più recentemente, la ricerca è andata orientandosi verso lo studio molecolare, a livello delle variazioni che si possono riscontrare su sequenze di DNA.

Cercare gli effetti di una variante genetica individuale su un carattere complesso e influenzabile dall'ambiente, come la performance sportiva, è estremamente complesso. Anche quando il carattere può essere quantificabile come il  $VO_{2max}$ , individuare la componente genetica individuale è un'ardua impresa. Tuttavia, nell'ultima decade, numerose ricerche hanno mostrato che mutazioni di singoli geni possono influenzare la performance (*Rankinen et al., 2001; 2002; 2003; 2004; 2005; 2006*).

L'utilità di sviluppare questi temi scaturisce dalla carenza e, per alcuni aspetti, dall'assenza di studi specifici nel campo, ed al contempo dalla necessità di fare chiarezza su alcuni argomenti che, nell'attuale dibattito scientifico internazionale, trovano spesso risposte contrastanti.

Infatti, sotto l'aspetto della morfologia delle ginnaste d'élite, i risultati presenti in letteratura non sempre tengono conto degli aspetti evolutivi che hanno caratterizzato la struttura fisica della ginnasta dal 1968 ad oggi (*Claessens, 1999b*).

In campo maschile è invece raro trovare dei lavori dettagliati sui ginnasti d'élite che analizzino in maniera precisa le diverse variabili morfologiche. Nell'insieme, la maggior parte delle indagini si sono infatti limitate al considerare poche variabili, come l'età, la statura, il peso, il somatotipo e/o la percentuale di massa grassa.

Nonostante lo sviluppo delle metodologie per la valutazione morfo-funzionale dell'atleta, nello studio dei ginnasti d'élite rimangono ancora ampi settori da esplorare. Pertanto, sussiste la necessità di stabilire parametri di riferimento specifici per i ginnasti, che potranno essere di grande utilità per la selezione dei futuri atleti e non solo.

Nel campo della genetica applicata allo sport, lo studio della variabilità di risposta dell'organismo umano all'esercizio fisico a livello della molecola di DNA si configura, come si è detto, una disciplina piuttosto recente. Inizialmente gli studi di associazione si sono focalizzati sulla prestazione degli atleti d'élite provenienti dalle più svariate discipline sportive, con risultati molto spesso inconcludenti.

Successivamente, i diversi autori, consci della difficoltà di quantificare le relazioni tra un singolo gene ed un carattere fenotipico complesso, quale è la performance sportiva, hanno iniziato a suddividere gli atleti d'élite sottoposti ad analisi sulla base della differente tipologia di prestazione. Si sono quindi ottenuti i primi risultati positivi individuando alcuni polimorfismi genetici associati alle prestazioni di anaerobiche di sprint e potenza ed altri alle prestazioni aerobiche e di endurance. La tendenza attuale è quella di ridurre ulteriormente i fattori di variabilità dovuti alle differenti esigenze caratterizzanti le varie prestazioni sportive, studiando la distribuzione delle frequenze alleliche e genotipiche su popolazioni selezionate di atleti d'élite che provengono da una singola disciplina sportiva. Attualmente sono diverse le discipline sportive che sono state oggetto di studio per la verifica delle associazioni tra performance e selezionati marcatori genetici, ma sfortunatamente ancora nessuno studio si è focalizzato selettivamente sulla ginnastica artistica.

Infine, malgrado alcuni aspetti genetici legati alla performance siano di indubbio interesse, la complessità dei fattori condizionanti ciascun gesto motorio e ancor di più la prestazione è tale da non consentire ancora risultati conclusivi.

**Lo scopo** primario della presente trattazione è stato quello di delineare le caratteristiche morfologiche dei ginnasti italiani d'élite e tentare un approccio genetico al fine di individuare la distribuzione delle frequenze genotipiche di alcuni marcatori. Per lo sviluppo di quest'ultimo aspetto, si sono scelti i due marcatori genetici (ACE e ACTN-3) più studiati nell'ambito delle prestazioni sportive anaerobiche di sprint e potenza, tra le quali la ginnastica artistica può essere ricondotta.



Successivamente ci si è proposti di verificare le relazioni tra variabili antropometriche e performance ginnica e le associazioni tra caratteri fenotipici, semplici e complessi, e i polimorfismi genetici oggetto dello studio. Per il raggiungimento dell'obiettivo si sono esaminati gli atleti appartenenti alle Squadre Nazionali Italiane di Ginnastica Artistica Maschile e Femminile nel corso degli anni 2005-2007.

### ***Risultati conseguiti.***

Ciò che è emerso dal presente lavoro pone in evidenza innanzitutto le peculiarità morfologiche che caratterizzano gli atleti italiani praticanti ginnastica artistica a livello elitario rispetto alla popolazione non-sportiva.

Sia le ginnaste che i ginnasti italiani d'élite hanno una **statura** inferiore rispetto alla media della popolazione sportiva e non-sportiva di pari età. Anche a livello percentile, il campione esaminato si localizza al di sotto del 25P degli standard di riferimento. In rapporto alle altre ginnaste, il campione femminile Senior qui esaminato presenta una statura media simile a quella riscontrata nelle partecipanti alle Olimpiadi di Sidney 2000 (rispettivamente 152 cm vs 153 cm), ma inferiore rispetto a quella delle ginnaste di 20 anni fa (*Claessens et al., 1991a*) (rispettivamente 152 cm vs 157 cm). In contrasto, la statura dei ginnasti maschi italiani si presenta simile a quella dei colleghi partecipanti ai Campionati del Mondo di Rotterdam del 1987 (rispettivamente 169 cm vs 167 cm). Rispetto ai dati più recenti relativi alla statura dei ginnasti, maschi e femmine, i nostri risultati si trovano in linea con quanto descritto in letteratura per questa classe di atleti (*Claessens, 1997, 1999b; Malina, 1999; Daly et al., 2000*).

Il **peso** segue pattern differenti tra i due sessi. Infatti, mentre le ginnaste mostrano sempre un peso al di sotto del 25P degli standard di riferimento, i ginnasti stabilizzano questo parametro superiormente al 25P (ginnasti Junior) e al 50P (ginnasti Senior) degli standard di riferimento. Inoltre, dal confronto con i ginnasti partecipanti ai Campionati del Mondo di Rotterdam del 1987 (*Claessens et al., 1991a*) emerge come, a parità di statura, i ginnasti Senior qui esaminati presentino un peso maggiore (rispettivamente 63 Kg vs 69 Kg).

Interessanti e distintivi sono i risultati emersi dall'analisi della **composizione corporea**. Entrambi i sessi presentano un alto sviluppo della massa magra: la percentuale media per i ginnasti è di 91% mentre quella delle ginnaste di 88%.

Per contro la massa grassa evidenzia valori decisamente bassi in entrambi i gruppi di atleti (maschi 9%; femmine 12%). Nei maschi questo parametro si presenta in linea con i range di variabilità previsti per questa classe di atleti (5-10%) e per la più generale popolazione sportiva (Heyward *et al.*, 2004), nelle ginnaste la percentuale è inferiore rispetto a quella riscontrata nelle atlete d'élite delle altre specialità considerate nel presente lavoro.

Ulteriori particolari caratteristiche fisiche comuni alle due sezioni sono rappresentate dalle **larghezze bicrestiliaca e biacromiale**. Sia i ginnasti che le ginnaste mostrano infatti valori elevati per l'indice acromio-iliaco e conseguenti spalle larghe e bacino stretto. Questi parametri caratterizzano in modo marcato i ginnasti qui esaminati rispetto alla popolazione italiana non-sportiva, che ha invece un rapporto pressoché proporzionale di questi due diametri.

Altri risultati d'interesse sono emersi dall'analisi del **somatotipo** e dalla omogeneità degli atleti per questo parametro. La mesomorfia si individua quale componente dominante in entrambi i sessi, con valori estremamente elevati per i ginnasti maschi. Le ginnaste si caratterizzano per un somatotipo tipicamente ecto-mesomorfo (1.7 - 4.4 - 3.2), con l'ectomorfia prevalente sull'endomorfia. Viceversa, i maschi mostrano un somatotipo mesomorfo bilanciato (1.6 - 6.3 - 2.1) con valori ectomorfici estremamente bassi.

Rispetto agli altri sportivi d'élite, la mesomorfia dei ginnasti si presenta inferiore solo a quella dei body builder (8.1) e dei sollevatori di pesi (7.0), mentre quella delle ginnaste risulta minore solo rispetto alle tenniste (4.6) ed alle giocatrici di pallamano (4.7).

Per ciò che concerne la sezione femminile, le indagini hanno preso in considerazione anche la **maturazione sessuale**. Dai risultati è emerso che solo il 2.5% delle ginnaste esaminate, tutte Senior, ( $15.1 \pm 1.7$ ) aveva avuto la comparsa del menarca. Questa piccola percentuale di ginnaste presenta un ritardo dell'età al menarca di circa 2.9 anni rispetto agli standard di riferimento per la popolazione italiana (Zoppi *et al.*, 1992).

Tutte queste caratteristiche sin d'ora evidenziate, trovano riscontri specifici negli studi condotti su questa classe di atleti, e sono testimonianza dell'importanza che la particolare struttura fisica assume nel raggiungimento di livelli d'élite nella Ginnastica Artistica.

Un successivo approccio all'argomento si è affrontato verificando le **relazioni** tra **caratteristiche antropometriche e punteggio** della performance nelle ginnaste.

I risultati ottenuti evidenziano delle forti relazioni tra caratteristiche antropometriche e punteggio ottenuto nel corso di importanti competizioni. In particolare, valori elevati della componente ectomorfica del somatotipo e della plica tricipitale influenzano negativamente il punteggio, mentre alti valori della lunghezza degli arti superiori sono associati ad alti punteggi di performance. Inoltre, il punteggio al Volteggio è quello che più che in altre specialità viene influenzato dalle caratteristiche antropometriche e dal somatotipo. Infatti, oltre il 74% della varianza nel punteggio in questa specialità può essere spiegata dalla combinazione tra l'ectomorfia (41%, predittore negativo), la larghezza bicrestiliaca (20%, predittore positivo) e la plica tricipitale (18%, predittore negativo).

Un altro aspetto che si è voluto considerare nel corso della presente trattazione riguarda un dibattito scientifico che ancora oggi non trova risposte certe ed esauritive. Tale dibattito si riferisce agli effetti che **l'allenamento ginnico** di alta specializzazione può avere sul **processo di accrescimento** delle giovani ginnaste.

Per affrontare questo punto, si sono messe a confronto le giovani ginnaste italiane d'élite con un gruppo di ginnaste di livello agonistico inferiore.

I nostri risultati evidenziano che ben il 75% delle ginnaste d'élite presenta *un'alterazione della velocità di crescita per la Statura* contro il 30% delle ginnaste di livello agonistico inferiore. Questi dati sono concordi con quanto riferito in letteratura per questa classe di atlete, che esibiscono tipicamente un modello auxologico di crescita lenta e maturazione ritardata (Bass et al., 2000; Theinz et al., 1993; Ziemilska, 1985; Zonderland et al., 1997; Malina, 1999; Claessens, 1999b).

Un altro aspetto interessante emerso da questa analisi è quello relativo *alla percentuale di massa grassa*. Le ginnaste d'élite presentano, infatti, una percentuale di massa grassa significativamente minore rispetto alle colleghe di livello agonistico inferiore (rispettivamente 11.2% vs 13.8%). Anche per la velocità di crescita di questo parametro, le ginnaste d'élite presentano un incremento annuo percentuale minore rispetto alle colleghe di livello inferiore (rispettivamente 8% vs 10.3%) .

Il peso segue lo stesso trend della massa grassa. La proporzione di ginnaste d'élite che presenta un peso al di sotto del 5P è significativamente più elevata di quella riscontrata nelle ginnaste di livello agonistico inferiore (rispettivamente 56% vs 10%).

Anche questi risultati rimarcano le peculiarità della ginnasta d'élite e della sua prestazione sportiva, suggerendo in tal contesto, la necessità di nuovi ed ulteriori analisi che mirino a far chiarezza sull'influenza dell'allenamento ginnico sul processo di accrescimento.

L'ultima parte della presente trattazione si è focalizzata sugli *aspetti genetici* legati alla performance ginnica. In questo caso si sono considerati sia i sessi uniti, in quanto i polimorfismi considerati non sono influenzati dal sesso, sia i sessi separati per le differenti richieste di prestazione dei maschi e delle femmine.

I risultati emersi dall'analisi delle frequenze alleliche e genotipiche del *polimorfismo ACE I/D* non evidenziano differenze significative tra ginnasti e gruppo di controllo. Inoltre, si riscontra un'elevata frequenza dell'allele D (Ginnasti: D=64% vs Controllo: D=62%) e del polimorfismo DD e ID sia nei ginnasti che nel gruppo di controllo. Dal confronto tra ginnasti maschi e femmine non emergono differenze significative sia per le frequenze genotipiche che alleliche. Ciononostante si denota una frequenza più elevata dell'allele D nei ginnasti rispetto alle ginnaste (Ginnasti D=71% vs Ginnaste D=56%). Suddividendo il campione in relazione al sesso, non emergono differenze significative né tra ginnasti e gruppo di controllo maschile né tra ginnaste e gruppo di controllo femminile, anche se si denota, nei ginnasti maschi, una frequenza più elevata del genotipo DD e dell'allele D rispetto al controllo (rispettivamente D=71% vs D=65%). Confrontando il gruppo dei ginnasti (maschi e femmine) con altri sportivi d'élite sono emerse differenze altamente significative nella distribuzione delle frequenze genotipiche ed alleliche tra ginnasti e atleti praticanti Canottaggio di endurance (Gaygay *et al.*, 1998) e Corsa oltre i 5000m (Myerson *et al.*, 1999). In particolare i ginnasti mostrano una frequenza più elevata del genotipo DD ed inferiore del genotipo II rispetto a questi due gruppi di atleti. Nessuna differenza è emersa tra ginnasti ed atleti praticanti discipline di sprint (Nuoto e Corsa) (Woods *et al.*, 2001; Myerson *et al.*, 1999; Nazarov *et al.*, 2001).

Si è evidenzia infine che le frequenze osservate nella popolazione italiana non-sportiva esaminata nel presente lavoro sono molto simili, come distribuzione percentuale allelica e genotipica, alle frequenze osservate in altri studi di associazione relativamente agli atleti d'élite praticanti discipline di sprint.

Da ciò si evince che, la popolazione italiana presenta delle differenze rispetto a quanto osservato nella più generale popolazione europea per ciò che concerne la distribuzione dei genotipi DD e II, e probabilmente questa differenza potrebbe configurarsi come la principale causa per la quale non si sono evidenziate differenze tra il gruppo di ginnasti esaminato nel presente studio ed il gruppo di controllo italiano.

I risultati fin qui evidenziati suggeriscono la possibilità di una associazione positiva tra l'allele D del gene ACE e le performance di sprint, nelle quali la ginnastica artistica può essere ricondotta.

I risultati emersi dall'analisi delle frequenze alleliche e genotipiche del **polimorfismo ACTN-3 R577X** evidenziano differenze significative tra ginnasti e gruppo di controllo. In particolare, i ginnasti hanno mostrato una frequenza inferiore del polimorfismo 577XX e superiore dell'allele 577R rispetto al controllo (rispettivamente R=73% vs R=57%). Di tutti i ginnasti esaminati, solo uno presenta l'omozigosità per l'allele 577X. Dal confronto tra ginnasti maschi e femmine non emergono differenze significative sia per le frequenze genotipiche che alleliche, anche se nei maschi il genotipo 577RR e dell'allele 577R appaiono più frequentemente (Ginnasti R=71% vs Ginnaste R=56%). Rispetto ai controlli a sessi separati, si riscontrano differenze significative solo tra ginnasti maschi e gruppo di controllo. Anche in questo caso i ginnasti mostrano una frequenza significativamente più elevata del genotipo 577RR (Ginnasti: RR=59% vs Controllo: RR=32%) e dell'allele 577R (Ginnasti: R= 79.5% vs Controllo R= 58%) rispetto al controllo maschile. Rispetto agli atleti d'élite praticanti altre discipline sportive si riscontrano differenze altamente significative tra ginnasti ed atleti maschi praticanti discipline di endurance (*Lucia et al., 2006; Yang et al., 2003*) che vanno sempre nel senso di una frequenza significativamente più elevata del genotipo 577RR e dell'allele 577R ed inferiore del genotipo 577XX. Nessuna differenza emerge tra ginnasti ed atleti praticanti discipline di sprint (*Yang et al., 2003*). Nelle ginnaste, viceversa non si riscontrano differenze rispetto alle atlete d'élite praticanti discipline di endurance e sprint (*Yang et al., 2003*). Anche se rispetto alle prime si ha un trend di frequenza minore del genotipo 577XX e più elevata dell'allele 577R (rispettivamente Ginnaste: XX=5.5%; R=67% vs Endurance: XX=29%; R=53%).

I risultati condotti sul marcatore ACTN-3 hanno evidenziato delle forti associazioni tra polimorfismo R577X e performance ginnica d'élite maschile. Nelle ginnaste, benché non si siano riscontrate differenze significative rispetto alla popolazione non sportiva e sportiva, si è manifestata una tendenza diretta verso un genotipo ACTN-3 simile a quello

delle riscontrato nelle atlete d'élite praticanti discipline sportive di sprint (ginnaste: RR=38.8%; RX=55.5%; XX=5.5% vs atlete di sprint: RR=43%; RX=57%; XX=0%).

Come aspetto conclusivo, le indagini genetiche sono culminate con un saggio orientato ad esaminare le *relazioni tra genotipi dell'ACE e dell'ACTN-3* con la *massa* e la *forza muscolare* nei ginnasti italiani d'élite.

A causa del ristretto numero di soggetti indagati, soprattutto in riferimento alla suddivisione dei diversi genotipi, questa analisi deve essere considerata prettamente esplorativa ed improntata al fornire degli spunti utili a future sperimentazioni attraverso le quali si auspica un incremento del numero di soggetti da sottoporre ad analisi.

I risultati ottenuti non mostrano associazioni significative tra parametri muscolari esaminati e marcatori ACE e ACTN-3, ad eccezione di un maggiore sviluppo della forza dei muscoli flessori delle dita nelle ginnaste con genotipo ACE I/I.

In linea di massima, i risultati ottenuti denotano una mancanza di chiarezza nell'associazione tra polimorfismi dei geni ACE e ACTN-3 e fenotipi legati a particolari parametri muscolari, suggerendo la possibilità che la relazione tra marcatori genetici esaminati e performance ginnica possa essere tale solo quando vengono considerati caratteri fenotipici complessi, come la performance sportiva, prodotti da contrazioni muscolari cicliche che si ripetono per un determinato periodo di tempo.

Come si è evidenziato nel corso della presente trattazione, i ginnasti sono tra gli atleti più bassi e la loro statura si presenta inferiore rispetto a quella della popolazione non-sportiva. Le ginnaste appaiono anche più leggere, con un peso che scende sempre al di sotto del 25P degli standard di riferimento per la popolazione non sportiva di pari età. Nonostante la “normale” bassa statura del gruppo di ginnasti qui esaminato, sarebbe auspicabile che, qualsiasi ginnasta la cui statura scendesse al di sotto del 5P, venisse sottoposto ad opportuni accertamenti al fine valutare eventuali stati di devianza dai normali processi fisiologici di accrescimento (*Lifshitz F, 1990*). L'accrescimento è un processo attivo e le tabelle per la velocità di crescita dovrebbero essere utilizzate anche per determinare la normalità dello stato di accrescimento (*Brook, 1986*) in modo da monitorizzare il processo sin dall'inizio della carriera di ogni giovane ginnasta.

Come si è visto, il somatotipo fornisce una visione sintetica della struttura fisica complessiva. In teoria ci si attende che la maggior parte degli atleti d'élite siano in possesso della miglior struttura fisica per la pratica ottimale della propria disciplina

sportiva. Nella ginnastica artistica femminile sembra predominare un somatotipo ecto-mesomorfo, mentre nella ginnastica artistica maschile si riscontra una mesomorfia bilanciata. Inoltre, particolare rilevanza assumono le *larghezze bicrestiliaca e biacromiale* nel determinare una struttura fisica ginnico-specifica comune ad entrambi i sessi. L'ipotesi generale è che senza una struttura fisica adeguata sia abbastanza improbabile che un atleta raggiunga un livello agonistico elitario. Forse la "struttura fisica perfetta" per ogni sport non esiste in quanto tale, ed anche un ginnasta d'élite che dovesse esserne in possesso non necessariamente conquisterebbe la medaglia d'oro, in quanto di estrema importanza sono poi i fattori psicologici, motivazionali, i rapporti con l'allenatore etc.

Indubbiamente, i soggetti con una struttura fisica ed un somatotipo diversi da quelli evidenziati hanno meno probabilità di raggiungere livelli elevati nella ginnastica artistica.

Anche i risvolti genetici vanno in questa direzione. Non riteniamo che i ginnasti possano essere selezionati sulla base delle frequenze polimorfiche di due marcatori genetici, ma sappiamo che questi, insieme ad altri geni, sono responsabili di una certa variabilità nella prestazione umana e potrebbero, a parità di protocolli allenamento, contribuire alla differenza che intercorre tra un ginnasta d'élite e un ginnasta di livello agonistico inferiore.

Lo sviluppo futuro di quest'analisi sul ginnasta d'élite e la sua prestazione sportiva, si concretizzerà nell'aumento delle dimensioni campionarie al fine di poter produrre risposte più affidabili e verificare la possibilità di estendere i risultati ottenuti nel presente lavoro anche a ginnasti d'élite proveniente da altre nazionalità.





## **BIBLIOGRAFIA**

- Ackland TR.**, Elliot B., Richards J. *Growth in body size affects rotational performance in women's gymnastics*. Sports Biomech. Jul;2(2):163-76, 2003a.
- Acklan TR.**, Ong KB, Kerr DA. & Ridge B. *Morphological characteristics of Olympic sprint canoe and kayak paddlers*. J of Science and Medicine in Sport, 6(3):285-294, 2003b.
- Alvarez R.**, Terrados N. Ortolano R. et al. *Genetic variation in the renin-angiotensin system and athletic performance*. Eur.J. Appl. Physiol. 82:117–120, 2000
- Aparo M.**, Carmelj S., Piazza M., Rosato MR., Sensi S. *Ginnastica Ritmica*. Ed.: Piccin, 1999.
- Babic V.**, **Viskic-Stalec N.** *A talent for sprinting. How can it be discovered and developed*. Coll. Antropo. 26:205-219; 2002
- Bandyopadhyay A.** *Anthropometry and Body Composition in Soccer and Volleyball Players in West Bengal, India*. J Physiol Anthropol, 26(4):501-505, 2007.
- Bajin B.** *Talent identification program for Canadian female gymnastics*. In Petiot, B et al (Eds.), *World identification systems for gymnastic talent*, Sport Psyches Editions Greeley, CO, 1987.
- Bale P.**, Goodway J.: *The anthropometric and performance variables of elite and recreational female gymnasts*. NZ J Sports Med, 15:63-66, 1987.
- Bale P.**, Douest J., Dawson D. *Gymnasts distance runners, anorexics body composition and menstrual status*. J Sports Med Phys Fitness 36:49-53, 1996.
- Barley J.**, Blackwood A., Carter N., Crews D., Kennedy Cruikshank J., Jeffery S., Ogunlesi A., and Sagnella G. *Angiotensin converting enzyme insertion/deletion polymorphism: association with ethnic origin*. J. Hypertens. 12: 955–957, 1994.
- Bass S.**, Pearce G, Bradney M, Hendrich E, Delmas PD, Harding A, Seeman E. *Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: studies in active pre-pubertal and retired female Gymnasts*. J Bone Miner Res 13:500–507, 1998.
- Bass S.**, Bradney M., Pearce G., Hendrich E., Stuckey S., Lo SK., Seeman E. *Short stature and delayed puberty in gymnasts: influence of selection bias on leg length and the duration of training on trunk length*. J Pediatr, 136:149-155, 2000.

- 
- Bass S.** *Evidence of catch-up growth in periods of reduced training.* Symposium presentation, Pre-Olympic Scientific Congress, Brisbane, Sept 9, 2000.
- Baudin B.** *New aspects on angiotensin-converting enzyme: from gene to disease.* Clin Chem Lab Med 40,256–265, 2002.
- Baxter-Jones ADJ,** Helms P, Baines-Preece J, Preece M. *Menarche in intensively trained gymnasts, swimmers and tennis players.* Ann Hum Biol 2(5):407–15, 1994.
- Baxter-Jones ADJ.,** Helms P, Maffulli N, Baines-Preece J, Preece M. *Growth and development of male gymnasts, swimmers, soccer and tennisplayers: a longitudinal study.* Ann Hum Biol;22:381-94;1995.
- Baxter-Jones ADJ. and Helms PJ.** *Effects of training at a young age: A review of the training of young athletes (TOYA) Study.* Pediatr Exerc Sci; 8:310-327, 1996.
- Baxter-Jones ADJ.,** Thompson AM and Malina RM. *Growth and Maturation in Elite Young Female Athletes.* Sports Medicine and Arthroscopy Review; 10:42-49, 2002.
- Baxter-Jones ADJ and Maffulli N.** *Intensive training in elite young female athletes.* British Journal of Sport Medicine, 36:1, pg 13, 2002.
- Baxter-Jones ADJ,** Maffulli N. and Mirwald R. *Does elite competition inhibit growth and delay maturation in some gymnasts? Probably not.* Ped. Exerc. Sci. 15:373–382, 2003.
- Bayos IA.,** Bergeles NK., Apostolidis NG., Noutsos KS., Koskolou MD. *Anthropometric, body composition and somatotype differences of Greek elite female basketball, volleyball and handball players.* J Sports Med Phys Fitness, 46:271-80, 2006.
- Beinlich CJ.,** White GJ., Baker KM., and Morgan HE. *Angiotensin II and left ventricular growth in newborn pig heart.* J. Mol. Cell. Cardiol. 23: 1031–1038, 1991.
- Bernink MJE.,** Erich WBM., Peltenburg AL., et al.: *Height body composition, biological maturation and training in relation to socioeconomic status in girl gymnasts, swimmers and controls.* Growth, 47: 1-12, 1983.
- Beunen G.,** Classens AL., Van Esser M. *Somatic and motor characteristics of female gymnasts.* In: Borms J., Hebbelinck M., Venerando A.(eds): The Female Athlete. Medicine and Sport. Basel, Karger, vol 15, pp 170-185, 1981.
- Beunen G.P.,** R.M. Malina, and M. Thomis. *Physical growth and maturation of female gymnasts.* In: Human Growth in Context, Johnston, F.E.B. Zemel, and P.B. Eveleth (Eds.). London, UK.: Smith-Gordon, 281–289, 1999.
- Bicrouit VA.** *Effets de la gymnastique sportive sur la croissance et al maturation pubertaire des jeunes filles.* Science & Sport, 18:65-73, 2003.

- Blanchard A.**, Ohanian V., Critchley D. The structure and function of a-actinin. *J Muscle Res Cell Motil* 10:280–289; 1989.
- Bloomfield J.** *Talent identification and profiling*. In: Bloomfield J., Fricker PA., Fitch KD., editors. *Textbook of science and medicine in sport*. Melbourne: Blackwell Scientific Publication, 187-98, 1992.
- Borms J.**, Caine DJ. *Kinanthropometry*. In: Sands WA, Caine DJ., Borms J. (eds) *Scientific aspects of women's gymnastics*. Karger, Basel, pp 110-127, 2003.
- Bosco C.**, Luhtanen P. and Komi PV. *A simple method for measurement of mechanical power in jumping*. *Eur J Appl Physiol*, 50:273-282, 1983.
- Bouchard C.**, Lesage R., Lortie G., et al. *Aerobic performance in brothers, dizygotic and monozygotic twins*. *Med. Sci. Sports Exerc.*;18: 639-646, 1986.
- Bouchard C.**, Chagnon M., Thibault M.C., Boulay M.R., Marcotte M. and Simoneau J.A. *Absence of charge variant in human skeletal muscle enzyme of the glycolytic pathway*, *Hum. Genet.* 78:100, 1988
- Bouchard C.**, Malina R.M., Pèrusse L. *Genetics of Fitness and Physical Performance*. Human Kinetics, Champaign, IL, 1997.
- Bouchard C.**, An P., Rice T., Skinner JS., Wilmore JH., Gagnon J., Perusse L. Leon AS. And Rao DC. *Familial aggregation of VO<sub>2</sub>max response to exercise training: result from the HERITAGE Family Study*. *J Appl Physiol*, 87:1003-1008, 1999.
- Bouchard Jr.**, Lykken TJ., McGue DT., Segal M., Tellegen NL. *Sources of human psychological differences: the Minnesota Study of Twins Reared Apart*. *Science* 250, 223–228, 1990.
- Bouix O.**, Brun JF, Fedou C, Micallef JP, Charpiat A, Rama D, et al. *Exploration de gymnastes adolescents de classe sportive : quel suivi médical pour la croissance et la puberté ?* *Sciences & Sport*;1(1):51–65, 1997.
- Bourgois J.**, Claessens AL, Janssens M et al. *Anthropometric characteristics of elite female junior rowers*. *J Sports Sci.* 19:195-202, 2001.
- Brandt I.**, Reinken L. *The growth rate of healthy children in the first 16 years*. *Klin Pad*; 200(6):451–6, 1988.
- Brendon G.**, Klentrou P. *Physical and pubertal development in young male gymnast*. *J Appl Physiol* 95:1011-1015, 2003
- Brisson GR.**, Ledoux M., Dulac S., et al.: *Dysadrenarche as a possible explanation for delayed onset of menarche in gymnasts*; In Knuttgen H., Vogel J., Poortmans J. (eds): *Biochemistry of Exercise*. International Series on Sports Sciences. Champaign, Human Kinetics, vol.13 pp 631-636, 1983.

- 
- Brook GGD.**, Hindmarsh PC, Healy MJR: *A better way to detect growth failure*. Br Med J, 293:1186, 1986.
- Broekhoff J.**, Nadgir A., Pieter W. *Morphological differences between young gymnasts and non-athletes matched for age and gender*. In Reilly T., Watkins J., Borms J. (eds): *Kinanthropometry III*. London, E & FN Spon, pp 204-210, 1986.
- Brooks TJ.** *Women's Collegiate Gymnastics: A multifactorial approach to training and conditioning*. J Strength. Cond. 25(2):23-37, 2003.
- Brown NJ.**, Blais C. Jr, Gandhi SK. and Adam A. *ACE insertion/deletion genotype affects bradykinin metabolism*. J Cardiovasc Pharmacol. 32: 373–377, 1998.
- Buckler JM.**, Brodie DA. *Growth and maturity characteristics of schoolboy gymnasts*. Ann Hum Biol;4:455-631977.
- Cacciari E.**, Milani S. Balsamo A., Spada E., Bona G., Cavallo S., Cerruti F., Gargantini L., Greggio N., Tonini G. and Cicognani A. *Italian cross-sectional growth charts for height, weight and BMI (2 to 20 yr)*. J Endocrinol Invest 29:581-593, 2006.
- Caine D.**, Cochrane B., Caine C., Zemper E.: *An epidemiological investigation of injuries affecting young competitive female gymnasts*. Am J Sports Med, 17:811-820, 1989.
- Caine D.**, Roy S., Singer K., et al: *Stress changes of the distal radial growth plate. A radiographic survey of 60 young competitive gymnasts and an epidemiologic review of the related literature*. Am J Med, 20:290-298, 1992.
- Caine D.**, Lewis R., O'Connor P., Howe W. and Bass S. *Does gymnastics training inhibit growth of females?* Clin. J. Sport Med. 11:260–270, 2001.
- Caine D.**, Bass S. and Daly R. *Does elite competition inhibit growth and delay maturation in some gymnasts? Quite possibly*. Ped. Exerc. Sci. 15:360–372, 2003.
- Calavalle AR.** *Ginnastica Ritmica Moderna. Il Ritmo, i Piccoli Attrezzi*. Ed.: Montefeltro, 1990.
- Can F.**, Yilmaz I., Erden Z. *Morphological Characteristics and Performance Variables of Women Soccer Players*. J. Strength Cond Res 18(3):480-485, 2004.
- Canda Moreno A.** *Valores cineantropométricos de referencia*. En: Esparza Ross, F. editores. Monografías FEMEDE. Manual de Cineantropometría. 1ed. Madrid: Ed GREC FEMEDE; 1993. p. 171-214.
- Carter JEL.** *The Heath-Carter Somatotype Method*. San Diego, CA: San Diego State University Syllabus Service, 1980.
- Carter JEL.** *Somatotypes of female athletes*. Med Sport 15:85-116, 1981.

- Carter JEL.,** Aubry SP., Sleet DA. *Somatotypes of Montreal Olympic athletes*; In Carter JEL (ed): *Physical Structure of Olympic Athletes. Part I: The Montreal Olympic Games Anthropological Project, Medicine and Sport*. Basel, Karger, vol.16 pp 53-80, 1982a.
- Carter JEL.** *Physical Structure of Olympic Athletes. Part I. The Montreal Olympic Games Anthropological Project*. Basel: Karger; 1982b.
- Carter JEL.,** Ross DW., Duquet W., Aubry SP. *Advances in Somatotype Methodology and Analysis*. Yearb Phys Anthropol 26:193-213, 1983.
- Carter JEL.** *Physical Structure of Olympic Athletes. Part II. Kinanthropometry of Olympic Athletes*. Basel: Karger; pp 59-94, 1984.
- Carter JEL.** *Young Athletes*. Champaign, Ill: Human Kinetics; 153–65, 1988.
- Carter JEL. and Brailier RM.:** *Physiques of specially selected female gymnasts*; In Malina RM. (ed): *Children and Sport*. Champaign, Human Kinetics, 1988.
- Carter JEL.,** Heath BH. *Somatotyping-Development and Applications*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990.
- Carter JEL and Ackland TR.** *Kinanthropometry in Aquatic Sports*. Champaign. Human Kinetics. 1994.
- Carter JEL and Marfell-Jones MJ.** Somatotype. In: Carter JEL & Ackland TR. (eds) *Kinanthropometry in Aquatic Sports*. Champaign. Human Kinetics, 1994.
- Carter JEL,** Rienzi EG, Gomes PSC & Martin A. Somatotipo y Tamano Corporal. In: Rienzi E, Mazza JC, Carter JEL & Reilly T. (eds.), *Kutbolista Sudamericano de Elite: Morphologia, Analisis del Juego y Performance*, Rosario. Biosystem Servicio Educativo. 1998.
- Carter JEL.** *The Heath-Carter Somatotype Method. Instruction Manual*. Revised by J.E.L. Carter. San Diego, CA: San Diego State University Syllabus Service, 2002.
- Chagnon YC.,** Allard C. and Bouchard C. *Red blood cell genetic variation in Olympic endurance athletes*. *J. Sports Sci.*2:121–129, 1984.
- Chatterjee S. and Laudato M.** *Gender and performance in athletics*. *Soc. Biol.* 42,124-132, 1995.
- Claessens AL.,** Beunen G., Lefevre J., Stijnen V., Maes H., Veer FM. *Relation between physique and performance in outstanding female gymnasts*. In: Hermans GPH., editor. *Sports, medicine and health*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers BV., 725-31, 1990.
- Claessens AL.,** Vecr FM., Stijnen V., Lefevre J., Maes H., Steens G., et al. *Anthropometric characteristics of outstanding male and female gymnasts*. *J Sports Sci*, 9:53-74, 1991a.

- 
- Claessens AL.,** Lefevre J, Beune G, Stijnen V, Maes H, Veer FM. *Gymnastic Performance as Related to Anthropometric and Somatotype Characteristic in Male Gymnasts.* *Anthrop Közl*, 33:243-247; 1991b.
- Claessens AL.,** Malina RM., Lefevre J., et al. *Growth and menarcheal status of elite female gymnasts.* *Med Sci Sports Exerc*, 24:755-763, 1992.
- Claessens AL.,** Lefevre J, Beunen G, Malina RM. *The contribution of anthropometric characteristics to performance scores in elite female gymnast.* *J Sports Med Phys Fitness*, 39:355-360, 1999a.
- Claessens AL.** *Elite female gymnasts: A kinanthropometric overview;* In Johnston FE., Eveleth P., Zemel B. (eds): *Human Growth in Context.* London, Smith-Gordon pp 273-280, 1999b.
- Claessens AL.,** Lefevre J., Beunen GP., Malina RM. *Maturity-associated variation in the body size and proportions of elite female gymnasts 14-17 years of age.* *Eur J Pediatr*, 165:186-192, 2006.
- Clarkson PM.,** Devaney JM., Gordish-Dressman H., Thompson PD., Hubal MJ., Urso M., Price TB., Angelopoulos TJ., Gordon PM., Moyna, NM. *et al.* *ACTN3 genotype is associated with increases in muscle strength in response to resistance training in women.* *J. Appl. Physiol.*, **99**:154-163, 2005.
- Coates D.** *The angiotensin converting enzyme (ACE).* *Int J Biochem Cell Biol* **35**, 769–773, 2003.
- Collins FS.,** Morgan M., Patrinos A. *The Human Genome Project: Lessons from Large-Scale Biology.* *Science*, 11: 286, 2003.
- Collins M.,** Xenophontos SL., Cariolu MA. et al. *The ACE gene and endurance performance during the South African Ironman Triathlons.* *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:1314–1320, 2004.
- Constantini NW,** Brautber C, Manny N, et al: *Differences in growth and maturation in twin athletes.* *Med Sci Sports Exerc*; 29(suppl):150, 1997.
- Constantini NW:** *Personal communication:* American College of Sports Medicine Annual Meeting, Seattle, May 29, 1997.
- Courteix D.,** Lespessailles E., Jaffre C., et al.: *Bone mineral acquisition and somatic development in highly trained girl gymnasts.* *Acta Paediatr*; 88:803-808, 1999.
- Couture L.,** Chagnon M., Allard C. and Bouchard C. *More on red blood cell genetic variation in Olympic athletes.* *Can. J. Appl.Sport Sci.* 11:16 –18, 1986.
- Cureton T.K.** *Physical Fitness of Champion Athletes.* Urbana, Ill.: The University of Illinois Press. 1951.



- Daly MR.,** Rich P.A., Klein R. *Hormonal responses to physical training in high-level peripubertal male gymnasts.* Eur J Appl Physiol 79: 74-81, 1998
- Daly MR.,** Rich P.A., Klein R., and Bass S.L. *Short stature in competitive prepubertal and early pubertal male gymnasts: The result of selection bias or intense training?* J Pediatr;137:510-6; 2000.
- Daly MR.,** Bass S., Caine D. and Howe W. *Does training affect growth? Answers to common questions.* Phys. Sportsmed. 30:21–29, 2002.
- Daly MR.,** Caine D., Bass SL., Pieter W. and Broekhoff J. *Growth of Highly versus Moderately Trained Competitive Female Artistic Gymnasts.* Med Sci Sport Exerc. 37(6):1053-1060, 2005.
- Dal Monte A.** *Med.Sport*, 52:501-509, 1969.
- Damsgaard R.,** Bencke J., Matthiesen G. et al., *Is prepubertal growth adversely affected by sport?* Med Sci Sports Exerc, 32:1698-1703, 2000.
- Danser AHJ.,** Schalekamp MADH., Bax WA., Brink AM van den, Saxena PR, Reigger GAJ., Schunkert H. *Angiotensin converting enzyme in the humane heart: effect of the deletion/insertion polymorphism.* Circulation 92:1387-1388, 1995.
- De Garay AL.,** Levine L. and Carter JEL. Single gene systems of blood. In: *Genetic and Anthropological Studies of Olympic Athletes*, A. L. de Garay, L. Levine, and J. E. L. Carter (Eds.). New York: Academic Press, pp. 165–187, 1974.
- De Ridder H.,** Monyeki D, Amusa L, Toriola A, Wekesa M & Carter L. *Kinanthropometry in African sports: Body composition and somatotypes of world class male African middle distance, long distance and marathon runners.* In: Norton K, Olds T & Dollman J. (eds.), *Kinanthropometry VI*, Adelaide, ISAK. 2000.
- Deuz RC.,** Benardot D., Martin DE and Cody MM. *Relationship between energy deficits and body composition in elite female gymnasts and runners.* Med Sci Sports Exerc 32(3):659-668,2000.
- Di Donato M.,** Teja A. *Agonistica e Ginnastica nella Grecia Antica.* Ed.: Studium, Roma, 1989
- Dionne FT.,** Turcotte L., Thibault MC., Boulay MR., Skinner JS., Bouchard C. *Mitochondrial DNA sequence polymorphism, V O<sub>2</sub>max, and response to endurance training.* Med. Sci. Sports Exercise 23, 177–185, 1991.
- Di Pietro L.,** Stachenfeld NS. *The female athlete triad.* Med Sci Sports Exerc 29:1669-1670, 1997.
- Duncan RL,** Turner CH. *Mechanotransduction and the functional response of bone to mechanical strain.* Calcif Tissue Int. 57(5):344-58, 1995.

- 
- Duquet W.,** Carter JEL.: *Somatotyping*; In Eston R., Reilly T (eds): *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual*, vol.1: *Anthropometry*. London, Routledge, pp 47-64, 2001.
- Durnin JV, Womersley J.** Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr* 32: 77-97, 1974.
- Dybowska, J and Dibowski, W.** *Anthropologische Untersuchungen an Teilnehmern der Wettkämpfe de IX. Olympiade in Amsterdam 1928*. In F.J.J. Buytendijk (ed), *Ergebnisse der sportarzlichen Untersuchungen bei den IX Olympischen Spielen*,. Berlin, Verlag von Julius Springer, pp. 1-29; 1928.
- Dyson K,** Blimkie CJ, Davison S, Webber CE, Adachi JD. *Gymnastic training and bone density in pre-adolescent females*. *Med Sci Sports Exerc* 29:443–450, 1997.
- Dyxon G,** Eurman P, Stern BE, Schwartz B, Rebar RW. *Hypothalamic function in amenorrheic runners*. *Fertility and sterility*; 42:337–83, 1984.
- Dzhafarov MA., Vasil'chuk AL.** *Anthropometric characteristics of highly qualified female gymnasts*. *Arkh Anat Gistol Embriol*, 93(8):33-7, 1987.
- Enrile E. & Invernici A.** *I principi fondamentali dell'educazione fisica*. Ed.: Società Stampa Sportiva, Roma, Vol.1, 1979
- Eston RG.,** Maridaki M. *Body composition of trained and untrained premenarcheal girls*; In Reilly T., Watkins J., Borms J. (eds): *Kinanthropometry III*. London, E. & F. Spon, pp 197-203, 1986.
- Facchini F., Gualdi Russo E.** Secular Anthropometric Changes in a Sample of Italian Adults. *J Hum Evol* 11:703-714, 1982.
- Falls HB., Humphrey LD.** *Body type and composition differences between placers and nonplacers in an AIAW Gymnastics Meet*. *Res Quart*, 49:38-43, 1978.
- Federation International De Gymnastique.** *Code de Pointage 2005-2008 – Gymnastique Artistique Masculine – Gymnastique Artistique Femmes*. Moutier, Switzerland: FIG, 2005
- Filaire E, Lac G.** *Nutritional status and body composition of juvenile elite female gymnasts*. *J Sports Med Phys Fitness*.;42(1):65-70, 2002.
- Fleck SJ.** *Body composition of elite American athletes*. *Am J Sports Med*, 11:398-403, 1983.
- Folland J.,** Leach JB., Little T., et al. *Angiotensin-converting enzyme genotype affects the response of human skeletal muscle to functional overload*. *Exp. Physiol*. 85:575–579, 2000.



- Forbes GB.** *Body composition in adolescence.* In F.Falkner & J.M. Tanner , Human Growth: vol 2. Postnatal growth neurobiology (pp.119-145) NY: Plenum Press, 1978.
- Fornetti WC.,** Pivarnik JM., Foley JM and Fiechtner JJ. *Reliability and validity of body composition measure in female athletes.* J Appl Physiol 87(3):1114-1122, 1999.
- Franchini E.,** Velly Nunes A., Morisson Mraes J. and Boscolo Del Vecchio F. *Physical Fitness and Anthropometrical Profile of the Brazilian Male Judo Team.* J Physiol Anthropol Appl Human Sci. 26(2):59-67, 2007.
- Franks IM.,** Goodman D. *A systematic approach to analysing sports performance.* J Sports Sci, 4:49-59, 1986.
- Fredman D.,** White SJ., Potter S.,Eichler EE., Den Dunnen JT. & Brookes AJ. *Complex SNP-related sequence variation in segmental genome duplications.* Nature Genetics 36:861 – 866; 2004.
- French DN.,** Gòmez AL., Volek JS., Rubin MR., Ratamess NA., Sharman MJ., Gotshalk LA., Sebastianelli WJ., Putukian M., Newton RU., Hakkinen K., Flech SJ., Kraemer WJ. *Longitudinal tracking of muscular power change of NCAA division I collegiate women gymnasts.* J. Strength Cond. Res. 18:101-107, 2004.
- Frisancho A.** Anthropometric standards for the assessment of growth and nutritional status. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1990.
- Frost HM.** *Vital biomechanics: Proposed general concepts for skeletal adaptation to mechanical usage.* Calcific Tissue Int. 42: 145-156, 1988.
- Gajdos A.** *Alter, Korpergrosse und Gewicht bei Kunstturnern und Kunstturnerinnen der WM 1983 in Budapest.* Leistungssport 14(3):17-8, 1984.
- Gaygay GB.,** Yu B., Hambly B. et al. *Elite endurance athletes and the ACE I allele—the role of genes in athletic performance.* Hum. Genet. 103:48–50, 1998.
- Geisterfer AA.,** Peach MJ. And Owens GK. *Angiotensin II induces hypertrophy, not hyperplasia, of cultured rat aortic smooth muscle cells.* Circ. Res. 62:749–756, 1988.
- Geithner CA,** Malina RM. *U.S. Diving Sport Science Seminar 1993.* Indianapolis: United States Diving; 36–7: 1993.
- Georgopoulos NA.,** Markou K., Theodoropoulou A., Paraskevopoulou P., Varaki L., Kazantzi Z., Leglise M., and Vagenakis AG. *Growth and Pubertal Development in Elite Female Rhythmic Gymnasts.* The J of Clin Endocrin & Metab, 84(12):4525-30, 1999.

- 
- Georgopoulos NA.,** Markou KB., Theodoropoulou A., Benardot D., Leglise M. and Vagenakis AG. *Growth Retardation in Artistic Compared with Rhythmic Elite Female Gymnasts.* The J of Clin Endocrin & Metab, 87(7): 3169-3173, 2002.
- Georgopoulos NA.,** Theodoropoulou A., Leglise M., Vagenakis AG and Markou KB. *Growth and Skeletal Maturation in Male and Female Artistic Gymnasts.* The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 89(9):4377-4382, 2004.
- Gianpietro M,** Pujia, A, Bestini I. *Anthropometric features and body composition of young athletes practicing Karate at a high and medium competitive level.* Acta Diabetol 40:S145-S148, 2003.
- Golden M.,** *Sport and Society in Ancient Greece.* New York: Cambridge University Press, 1998.
- Gordon S.,** Davis BS., Carlson CJ. & Botth FW. *Ang II is required for optimal overload-induced skeletal muscle hypertrophy.* Am J Physiol Endocrinol Metab 280, E150–E159, 2001.
- Groothaussen J.,** Siemer H., Kemper HCG., Twisk J. and Welten DC. *Inflences Influence of Peak Strain on Lumbar Bone Mineral Density: An Analysis of 15-Year Physical Activity in Young Males and Females.* Pediatr Exerc Sci, 9:159-173, 1997.
- Gualdi-Russo E,** Graziani I. *Anthropometric somatotype of Italian sport partecipans .* J Sports Med Phys Fitness 33:282-291, 1993.
- Gualdi-Russo E,** Zaccagni L. *Somatotype, role and performance in elite volleyball players.* J Sports Med Phys Fitness 41:256-262, 2001.
- Guillodo Y.,** Botton E., Saraux A., LeGoff P. *Controlateral spondylolysis and fracture of the lumbar pedicle in an elite female gymnast: case report. -* Spine 25:19 Oct. 1 , 2000
- Guo SW. and Thompson EA.** *Performing the exact test of Hardy-Weinberg proportion for multiple alleles.* Biometrix 48:361-372, 1992
- Gurd B. and Klentrou P.** *Physical and pubertal development in young male gymnasts.* J Appl Physiol 95: 1011–1015, 2003.
- Hanten WP.,** Chen WY., Austin AA., Brooks RE., Carter HC., Law CA., Morgan MK., Sanders DJ., Swan CA., Vanderslice AL. *Maximum grip strength in normal subjects from 20 to 64 years of age.* J Hand Ther 12:193-200, 1999.
- Haywood KM.,** *Strenght and flexibility in gymnasts before and after menarche.* Br J Sports Med; 14:994-1002, 1980.

- Haywood KM.,** Clark BA., Mayhew LL. *Differential effects of age-group gymnastics and swimming on body composition, strength and flexibility.* J Sports Med 26:416-420, 1986.
- Heath & Carter, B.H., J.E.L.** *A modified somatotype method.* American Journal of Physical Anthropology, 27:57-74, 1967.
- Hebb D.** *The organization of behavior.* New York: Wiley, 1949.
- Helge EW.,** Kanstrup IL. *Bone density in female elite gymnasts: impact of muscle strength and sex hormones.* Med Sci Sports Exerc 34:174–180, 2002.
- Henschen K.,** Sands WA., Gordin R. *Getting ready for '88, 1988.*
- Heyward VH, Wagner DR.** Eds. *Applied body composition assessment.* 2<sup>nd</sup> ed. Human Kinetics, Champaign, IL, 2004.
- Hirata K.** *Physique and age of Tokyo Olympic Champions.* J Sports Med Phys Fitness 14:189-192, 1966.
- Hirata K.** *Age and physique of Montreal Olympic World champions.* Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation, 2, 111-21. 1979.
- Ho R.** *Talent identification in China.* In Petiot, B et al (Eds.), *World identification systems for gymnastic talent*, Sport Psyches Editions Greeley, CO, 1987.
- Hopkinson NS.,** Nickol AH., Payne J. et al. *Angiotensin converting enzyme genotype and strength in chronic obstructive pulmonary disease.* Am. J. Respir. Crit. Care Med. 170:395–399, 2004.
- Human Genome Structural Variation Working Group,** et al. *Completing the map of human genetic variation.* Nature, 10;447(7141):161-5, 2007.
- Ishigai Y.,** Mori T., Ikeda T., Fukuzawa A. and Shibano T. *Role of bradykinin-NO pathway in prevention of cardiac hypertrophy by ACE inhibitor in rat cardiomyocytes.* Am. J. Physiol. 273: H2659–2663, 1997.
- Ishigaki T.,** Koyama K., Tsujita J., Tanaka N., Hori S. and Oku Y. *Plasma Leptin Levels of Elite Endurance Runners after Heavy Endurance Training.* J Physiol Anthropol Appl Human Sci 24(6):573-578, 2005.
- Jacomuzzi S.** *Storia delle Olimpiadi.* Ed: Einaudi, Torino, 1976
- Jahreis G.,** Kauf E., Fröhner G., Schmidt HE. *Influence of intensive exercise on insulin-like growth factor I, thyroid and steroid hormones in female gymnasts.* Growth Reg 1:95-99, 1991.

- 
- Janz KF.**, Nielsen DH, Cassady SL, Cook JS, Wu YT, Hansen JR. *Cross-validation of the Slaughter skinfold equations for children and adolescent.* Med Sci Sports Exerc, 25:1070-1076, 1993.
- Jokl E.** *Medicine, Science and Sport.* Trans Stud Coll Physicians Phila.2(2):81-9, 1980
- Jemni M.**, Friemel F., Le Chevalier JM., Origas M. *Heart rate and blood lactate concentration analysis during a high level men's gymnastic competition.* J Strength Cond. Res. 14:339-395, 2000
- Jemni M.**, Friemel F., Sands W., Mikesky A. *Evolution du profile physiologique des gymnasts Durant les 40 dernières années.* Can. J. Appl. Physiol. 26:442-456, 2001
- Jemni M.**, Sands W., Friemel F., Stone MH., Cooke CB. *Any Effect of Gymnastics Training on Upper-Body and Lower-Body Aerobic and Power Components in National and International Male Gymnasts?* J Strength Cond. Res. 20(4):899-907, 2006.
- Jensen RK.** *Evalutation of structural components of motor development in children.* Paper present at the meeting of North America Society for the Psychology of Sport and Physical Activity, Florida 1978.
- Jones A. & Woods DR.** *Skeletal muscle RAS and exercise performance.* Int J Biochem Cell Biol **35**, 855–866, 2003.
- Kamis HJ.**, Roche AF. *Growth outcome of “normal” short children who are retarded in skeletal maturation.* J Pediatr Endocrinol Metabol; 8: 85-96, 1995.
- Karjalainen J.**, Kujala UM., Stolt A., Mantysaari M., Viitasalto M., Kainulainen K., Kontula K. *Angiotensinogen gene M235T polymorphism predicts left ventricular hypertrophy in endurance athletes.* J Am Coll Cardiol 34:494-499, 1999.
- Kazemi M.**, Waalen J., Morgan C. and White AR. *A profile of Olympic Taekwondo competitors.* J of Sport Science and Medicine, CSSI 114-121, 2006.
- Kehoe P.G.**, Russ C., McIlory S., Williams H., Holmans P., Holmes C., Liolitsa D., et al. *Variation in DCPI, encoding ACE, is associated with susceptibility to Alzheimer diseas.* Nat. Genet., 21, 71-2, 1999
- Kirchner EM.**, Lewis RD., O'Connor PJ. *Bone mineral density and dietary intake of female college gymnasts.* Med Sci Sports Exerc, 27:543-549, 1995.
- Kwon, Y.H.**, V.L. Fortney, and I.S. Shin. *3-d analysis of Yurchenko vaults performed by female gymnasts during the 1988 Seoul Olympic Games.* International Journal of Sport Biomechanics. 6: 157-176, 1990.
- Koh M., Jenningsb L.** *Strategies in preflight for an optimal Yurchenko layout vault.* Journal of Biomechanics, 40(6): 1256-1261, 2007.

- Komadel L.** *The Identification of performance potential.* In: Dirix A., Knuttgen HG., Tittel K., editors. *The Olympic book of sports medicine.* Vol. I, Oxford: Blackwell Scientific Publications, 275-85, 1988.
- Khosla T.** *Sport for tall.* Br Med J, 287:736-8, 1983.
- Laing EM.,** Massoni JA., Nickols-Richardson SM., Modelsky CM., O'Connor PJ., Lewis RD. *A prospective study of bone mass and body composition in female adolescent gymnasts.* J Pediatr 141:211–216, 2002.
- Lander ES,** Linton LM, Birren B, Nusbaum C, Zody MC, Baldwin J et al. *Initial sequencing and analysis of the human genome.* Nature, 409(6822):860-921; 2001.
- Landers GJ,** Blanksby BA, Ackland TR & Smith D. *Morphology and performance of world championship triathletes.* Annals of Human Biology, 27(4):387-400, 2000.
- Leake CN and Carter JEL.** *Comparison of body composition and somatotype of trained female triathletes.* Journal of Sports Sciences, 9(2) :125-35, 1991.
- Leglise M:** Limits on young gymnasts' involvement in high-level sport. Technique 1998;18:8–14.
- Leone M., Larivière G.** *Caractéristique anthropométriques et biomotrices d'adolescents athlètes élités de disciplines sportives différentes.* Science & Sport, 13 :26-33, 1998.
- LeVeau B.,** Ward T., Nelson R. *Body dimensions of Japanese an American gymnasts.* Med Sci Sports; 6(2):146-150;1974.
- Lifshitz F., and Cervantes C.** *Short Stature.* In: Pediatric Endocrinolgy. A Clinical Guide. Lifshitz (Ed.). F. New York: Marcel Dekker, Inc., pp 3-25, 1996.
- Lindholm C.,** Hagenefeldt K., Ringertz BM. *Pubertal development in elite juvenile gymnast: Effects of physical training.* Acta Obstet Gynecol Scand 73:269-273, 1994.
- Lindholm C.,** Hagenefeldt K., Ringertz H. *Bone mineral content of young former gymnasts.* Acta Paediatr; 84:1109-1112, 1995.
- Lindsay R.,** Feldkamp M., Harris D., Robertson J. and Rallison M. *Utah Growth Study: growth standards and the prevalence of growth hormone deficiency.* J.Pediatr. 125:29–35, 1994.
- Linz W.,** Scholkens BA. *A specific B2-bradykinin receptor antagonist HOE 140 abolishes the antihypertrophic effect of ramipril.* Br J Pharmacol, 105:771-772, 1992.

- 
- Linz W.**, Wiemer G., and Scholkens BA. *Role of kinins in the pathophysiology of myocardial ischaemia. In vitro and in vivo studies.* Diabetes 45: S51–S58, 1996.
- Liu Y.**, Leri A., Li B. et al., *Angiotensin II stimulation in vitro induces hypertrophy of normal and postinfarcted ventricular myocytes.* Circ Res 82:1145-1159, 1998.
- Lohman TG.** *Advances in body composition assessment.* Champaign (Illinois) : Human Kinetics Publishers, VIII, 150 p c1992.
- Lopez A.**, Rojas J., Garcia E. *Somatotype et composition du corps chez les gymnasts de haut niveau.* Cinèsiologie, 72:5-18, 1979.
- Loucks AB.**, Vaitukaitis J, Cameron JL, Rogol AD, Skrinar G, Warren MP, et al. *The reproductive system and exercise in women.* Med Sci Sports Exerc; 2(6):S288–293, 1992.
- Lubich T.**, Cesaretti D. *Med.Sport.*, 43:223-229, 1990.
- Lucia A.**, Gomez-Gallego F., Chicharro JL. et al. *Is there an association between ACE and CKMM polymorphisms and cycling performance status during 3-week races?* Int. J. Sports Med. 26:442–447, 2005.
- Lucia A.**, F. Gomez-Gallego, Santiago C., et al. *ACTN3 genotype in professional endurance cyclists.* Int. J. Sports Med. 27:880–884, 2006.
- MacArthur DG and North KN.** A gene for speed? The evolution and function of alpha-actinin-3. Bioessays. 26(7):786-95; 2004.
- MacArthur DG. and North KN.** *Genes and human elite athletic performance.* Hum. Genet. 116:331–339, 2005.
- MacArthur DG.**, Seto JT., Raftery JM., Quinlan KG., Huttley GA., Hook JW., Lemckert FA., Edwards MR., Berman Y., Hardeman EC. et al. *Loss of function of the ACTN3 gene alters muscle metabolism in a mouse model and has been favored by selection during recent human evolution.* Nat. Genet., **39**:1261-1265, 2007.
- Maïmoun L.**, Coste O., Puech AM., Peruchon E., Jaussent A., Paris F., Rossi M., Sultan C., Mariano-Goulart D. *No negative impact of reduced leptin secretion on bone metabolism in male decathletes.* Eur J Appl Physiol, 102:343-351, 2008.
- Malina RM.**, Bouchard C., Shoup RF., Demirjian A., Lariviere G. *Age at menarche, family size, and birth order in athletes at the Montreal Olympic Games.* Med Sci Sports 11:354–358, 1976.
- Malina RM.** *Growth of muscle tissue and muscle mass.* In: Falkner F., Tanner JM., Humane growth: a comprehensive treatise, vol 2, Developmental biology; postnatal growth; neurobiology, 2<sup>nd</sup> ed., Plenum, New York, pp 77-89, 1981.



- Malina RM and Bouchard C.** *Growth, maturation and physical activity*. Humane Kinetics Books, Champaign, Illinois, 1991.
- Malina RM.** *Physical growth and biological maturation of young athletes*; In Holloszy JO (ed): *Exercise and Sport Sciences Reviews*. Baltimore, Williams & Wilkins, vol.22 pp 389-433, 1994.
- Malina RM., Ryan RC., Bonci CM.** *Age at menarche in athlete and their mothers and sisters*. *Ann Hum Biol.*, 21:417-422, 1994.
- Malina R.** *Anthropometry in "Physiological assessment of Human fitness"*. Eds. P.J.Maud/ C.Foster Human Kinetics, 1995.
- Malina RM.** *Growth and maturation of elite female gymnasts: is training a factor?*. In: *Human growth in context*, Edit by Johnston, Zemel Eveleth, 291-301, 1999.
- Malina RM., Bouchard C., and Bar-Or O.** *Growth, Maturation and Physical Activity*. 2<sup>nd</sup> Edition, Champaign, IL: Human Kinetics, pp 307-336, 2004a.
- Malina RM., Eisenmann JC., Cumming SP., Ribeiro B., Aroso J.** *Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years*. *Eur J Appl Physiol*, 91:555-562, 2004b.
- Malina RM.,** *Body Composition in Athletes: Assessment and Estimated Fatness*. *Clin Sports Med*, 26:37-68, 2007.
- Malousaris GG., Bergeles NK., Barzouka KG., Bayios IA., Nassis GP., Koskolou MD.** *Somatotype, size and body composition of competitive female volleyball players*. *J Sci Med Sport*, 199, Article in press, 2007.
- Mansfield MJ., Emans SJ.** *Growth in female gymnasts: should training decrease during puberty?* *J Pediatr*; 12(2):237-9, 1993.
- McNeal J. and Sands W.** *Acute static stretching reduced extremity power in trained children*. *Pediatr. Exerc. Sci.* 15:139-145, 2003.
- Mendez-Villanueva A. and Bishop D.** *Physiological Aspects of Surfboard Riding Performance*. *Sports Med* 35:56-70, 2005
- Mills M, Yang N, Weinberger R, vander Woude DL, Beggs AH, Eastel S, North K.** *Differential expression of the actin-binding proteins,  $\alpha$ -actinin-2 and -3, in different species: implications for the evolution of functional redundancy*. *Hum Mol Genet* 10:1335-1346, 2001.
- Mirwald RL., Baxetr-Jones A., Bailey DA., Beunen GP.** *An assessment of maturity from anthropometric measurements*. *Med Sci Sports Exerc*, 34(4):689-694, 2002.

- 
- Montgomery HE**, Clarkson P, Dollery CM, Prasad K, Losi MA, Hemingway H, Statters D, Jubb M, Girvain M, Varnava A, World M, Deanfield J, Talmud P, McEwan JR, McKenna WJ and Humphries S. *Association of angiotensin converting enzyme gene I/D polymorphism with change in left ventricular mass in response to physical training*. Circulation 96: 741-747, 1997.
- Montgomery HE.**, Marshall RM., Hemingway H. Myerson S. et al. Humane gene for physical performance. Nature, 393:221-222, 1998.
- Monyeki M.**, Monyeki K. & Ramodike S. *Somatotypes of first-division college basketball players of South Africa*. Australian Conference of Science and Medicine in Sport. Free Paper & Poster Abstracts. 1998.
- Moran CN.**, Yang N., Bailey MES., Tsiokanos A., Jamurtas A., MacArthur DG., North K., Pitsiladis YP., and Wilson RH. *Association analysis of the ACTN3 R577X polymorphism and complex quantitative body composition and performance phenotypes in adolescent Greeks*. European Journal of Human Genetics 15:88–93, 2007.
- Murphy LJ.**, Gainer JV., Vaughan DE., Brown NJ. *Angiotensin-converting enzyme insertion/deletion polymorphism modulates the human in vivo metabolism of bradykinin*. Circulation, 102:829-832, 2000.
- Myerson S.**, Hemingway H., Budget R., Martin J., Humphries S. & Montgomery H. *Human angiotensin I-converting enzyme gene and endurance performance*. J Appl Physiol 87:1313–1316, 1999.
- Nadgir A.** *A Morphological Study of Young Male and Female Competitive Gymnasts*. Eugene Microform Publication, 1988.
- Nazarov IB.**, Wodds DR., Montgomery HE. Et al. *The angiotensin converting enzyme I/D polymorphism in Russian athletes*. Eur. J. Hum. Genet. 9:797–801, 2001.
- Nichols DL**, Sanborn CF, Bonnick SL, Gench B, Di Marco N. *Relationship of regional body composition to bone mineral density in college female*. Med Sci Sports Exerc; 2(2):178–85, 1995.
- Nichols JE.**, Spindler AA., La Fave KL, et al.: *A comparison of bone mineral density and hormone status of periaolescent gymnasts, swimmers and controls*. Med Exerc Nutr Health; 4:101-106, 1995.
- Niemi AK. and Majamaa K.** *Mitochondrial DNA and ACTN3 genotypes in Finnish elite endurance and sprint athletes*. Eur J Hum Genet 13:965-969, 2005.
- Nichols-Richardson SM.**, O\_Connor PJ., Shapses SA., Lewis RD. *Longitudinal bone mineral density changes in female child artistic gymnasts*. J Bone Miner Res 14:994–1002, 1999.



- Nickols-Richardson SM.**, Modlesky CM, O'Connor PJ, Lewis RD *Premenarcheal gymnasts possess higher bone mineral density than controls*. Med Sci Sports Exerc.;32(1):63- 9, 2000.
- Nitschke JE.**, McMeeken JM., Burry HC., Matyas TA. *When is a change a genuine change? A clinically meaningful interpretation of grip strength measurements in healthy and disabled women*. J Hand Ther 12:25-30, 1999.
- Norgan NG.** *Anthropometry and physical performance*. In: Ulijaszek SJ., Mascie-Taylor CGN., editors. Anthropometry: the individual and the population. Cambridge: Cambridge University Press, 141-59, 1994.
- North KN,** Beggs AH. *Deficiency of a skeletal muscle isoform of  $\alpha$ -actinin ( $\alpha$ -actinin-3) in merosin-positive congenital muscular dystrophy*. Neuromusc Disorders;6:229-235; 1996.
- North KN.**, Yang N., Wattanasirichaigoon D., Mills M., Eastal S., Beggs AH. *A common nonsense mutation results in  $\alpha$ -actinin-3 deficiency in the general population*. Nat Genet 21:353–354; 1999.
- Norton KI.** *Australian male athletes: Body fat, somatotype, body density and anthropometric fractionation of body mass*. [Unpublished Master's thesis]. The Flinders University of South Australia, Adelaide, South Australia, Australia. 1984.
- Norton KI,** Craig NP, Withers RT, Whittingham NO. *Assessing the Body Fat of Athletes*. Aus J Sci Med Sport; 26(1/2):6-13, 1994.
- Norton KI, Olds T.** *Antropométrica*. Edición en español: Mazza, J. Ed. Biosystem Servicio Educativo; 2000.
- O' Connor PJ.**, Lewis RD., Kirchner EM. *Eating disorder symptoms in female college gymnasts*. Med Sci Sports Exerc 27:550-555, 1995.
- O' Connor PJ.**, Lewis RD., Boyd A.: *Health concerns of artistic women gymnasts*. Sports Med, 21:321-325, 1996.
- Olympic Gymnastics Controversy.** Sports Med Digest;18:97, 105–107, 1996.
- Ostojic SM.**, Mazic S. and Dikic N. *Profiling in Basketball: Physical and Physiological Characteristics of Elite Players*. J Strength Cond Res, 20(4):740-744, 2006.
- Paparini A.**, Ripani AM., Giordano GD., Santoni D., Pigozzi F. and Romano.Spica V. *ACTN3 genotyping by real-time PCR in the Italian population and athletes*. Med. Sci. Sports Exerc. 39:810–815, 2007.
- Park JK.**, Kim W., Kim SW., Koh GY., Park SK.. *Gene-polymorphisms of angiotensin converting enzyme and endothelial nitric oxide synthase in patients with erectile dysfunction*. Int. J. Impot. Res.,11, 273-6, 1999.

- 
- Pedroso da Silva PR.**, de Souza Trindade R., De Rose EH. *Body composition, somatotype and proportionality of elite bodybuilders in Brazil*. Rev Bras Med Esporte, 9(6):408-412, 2003.
- Peltenburg AL.**, Erich WBM., Bernink MJE, et al.: *Biological maturation, body composition, and growth of female gymnasts and control groups of schoolgirls and girl swimmers, aged 8 to 14 years: A cross-sectional study*. Int J Sport Med, 5:36-42, 1984a.
- Peltenburg AL.**, Erich WBM., Zonderland ML., et al.: *A retrospective growth study of female gymnasts and girl swimmers*. Int J Sports Med, 5:262-267, 1984b.
- Pocock NA.**, Eisman JA., Hopper JL., Yeates MG., Sambrook PN., Eberl S. *Genetic determinants of bone mass in adults: a twin study*. J Clin Invest 80:706-710, 1987.
- Pool J.**, Binkhorst RA., Vos JA. *Some anthropometric and physiological data in relation to performance of top female gymnasts*. Int Z angew Physiol, 27:329-38, 1969.
- Preece MA, and Baines MJ.** *A new family of mathematical models describing the human growth curve*. Ann. Hum. Biol. 5:1-24, 1978
- Putukian M.** *The female triad*. Sports Med 78:345-356, 1994.
- Rankinen T.**, Wolfarth B., Simoneau JA., Maier-Lenz D., Rauramaa R., Rivera MA., Boulay MR., Chagnon YC., Perusse L., Keul J., Bouchard C. *No association between the angiotensin-converting enzyme ID polymorphism and elite endurance athlete status*. J. Appl. Physiol, 88:1571-5, 2000.
- Rankinen T.**, Pérusse L., Rauramaa R., Rivera MA., Wolfarth B., Bouchard C. *The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes*. Med Sci Sports Exerc. 33(6):855-67, 2001.
- Rankinen T.**, Pérusse L., Rauramaa R., Rivera MA., Wolfarth B., Bouchard C. *The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2001 update*. Med Sci Sports Exerc. 34(8):1219-33, 2002.
- Rankinen T.**, Pérusse L., Rauramaa R., Rivera MA., Wolfarth B., Bouchard C. *The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2002 update*. Med Sci Sports Exerc. 35(8):1248-64, 2003.
- Rankinen T.**, Pérusse L., Rauramaa R., Rivera MA., Wolfarth B., Bouchard C. *The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2003 update*. Med Sci Sports Exerc. 36(9):1451-69, 2004.
- Rankinen T.**, Bray M., Hagberg J., Pérusse L., Roth S., Wolfarth B., Bouchard C. *The Human Gene Map for Performance and Health-Related Fitness Phenotypes: The 2005 Update*. Medicine and Science in Sports and Exercise, 38(11): 1863-1888, 2006.

- Raymond M. and Rousset F.** *Genepop (Version 1.2): Population genetics software for exact test and ecumenicism*. J.Hered 86:248-249, 1995
- Refrigeri G.** *Scienza e Pedagogia dell'educazione fisica*. Ed.: Giunti e Lisciani, Teramo, 1989
- Redon R.,** Ishikawa S., Fitch KR., Feuk L., Perry GH. et al. *Global variation in copy number in the human genome*. Nature, 444:444-454, 2006.
- Regnier G.,** Salmela J., Russel SJ. *Talent detection and development in sport*. In: Singer RN., Murphey M., Tennant LK., editors. Handbook of research on sport psychology. New York: McMillan Publishing Company, 290-313, 1993.
- Rich PA.,** Fulton A., Ashton J., Bass S., Brinkert P., Brown P. et al. *Physical and functional characteristics of highly trained young male gymnast*. Excel 8:93-100, 1992.
- Richards J.** *Talent Identification in Elite Gymnasts: Why Body Size is so Important*. Claremont WA: Paper presenter at the meeting of AIS National Elite Sports Research Program, Western Australian Institute of Sport, 1999.
- Rienzi E,** Drust B, Reilly T, Carter JE, Martin A. *Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players*. J Sports Med Phys Fitness 40:162-9, 2000.
- Rigat B.,** Hubert C., Alhenc-Gelas F., Cambien F., Corvol P., Soubrier F. *An insertion/deletion in the angiotensin I-converting enzyme gene accounting for half the variance of serum enzyme levels*. J. Clin. Invest. 86, 1343–1346, 1990.
- Robinson TL,** Snow-Harter C, Taaffe DR, Gillis D, Shaw J, Marcus R. *Gymnasts exhibit higher bone mass than runners despite similar prevalence of amenorrhea and oligomenorrhea*. J Bone Miner Res; 1(1):26–35; 1995.
- Rodriguez Biez E.,** Berral de la Rosa FJ. *Estudio Morfológico en Gimnastas Argentinos de Alto Rendimiento*. Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho Hum 8(4):16-24, 2006
- Rosen LW.,** Hough DO. *Pathogenic weight-control behaviors of female collegiate gymnasts*. Phys Sports Med 16:140-144, 1988.
- Ross WD., Wilson BD.** *A somatotype dispersion index*. Res Q. 44-372-374, 1973.
- Ross WD., Marfell-Jones M:** *kinanthropometry*; In: Mac Dougell JD, Wenger HA, Green HW (eds), 1991

- 
- Rupert JL.**, Devine DV., Monsalve MV., Hochachka PW. *Angiotensin-converting enzyme (ACE) alleles in the Quechua a high altitude South American native population*. Ann. Hum. Biol. 26, 375–380, 1999.
- Rupert JL.** *The search for genotypes that underlie human performance phenotypes*. Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology, 136(1):191-203, 2003.
- Salmela JH.** *Growth patterns of elite French-Canadian female gymnasts*. Can J Sport Sci, 4: 219-222, 1979.
- Sale D.**, Norman R., Mac Dougall J., Wenger H., Green H. *Testing strength and power. Physiological testing of elite athlete*. Movement Publications, Ithaca NY, 1982.
- Sanchez-Munoz C.**, Sanz D., Zabala M. *Anthropometric characteristics, body composition and somatotype of elite junior tennis players*. Br J Sports Med, 41(11):793-799, 2007.
- Sands WA.**, Caine DJ., Borms J., *Scientific Aspects of Women's Gymnastics*. Basel, Switzerland: Karger, 2003 pp. 128-161
- Sands WA.**, Smith LS., Kivi DM., McNeal JR., Dorman JC., Stone MH., Cormie P. *Anthropometric and physical abilities profiles: US National Skeleton Team*. Sports Biomech 4:197-214, 2005.
- Santiago C.**, González-Freire M., Serratos L., Morate FJ. Et al. *ACTN3 genotype in professional soccer players*. British Journal of Sports Medicine, 42(1):71, 2008.
- Sebat J.**, Lakshmi B., Troge J., Alexander J., Young J., Lundin P., Manér S., et al. *Large-Scale Copy Number Polymorphism in the Human Genome*. Science, 305 (5683) : 525 –528; 2004.
- Scanavini D.**, Bernardi F., Castoldi E., Conconi F e Mazzini G. *Increased frequency of the homozygous II ACE genotype in Italian Olympic endurance athletes*. Eur. J. Hum. Genet. 10:576–577, 2002.
- Seeman E.**, Hopper JL., Young NR., Formica C., Goss P. & Tsalamandris C. *Do genetic factors contribute to associations between muscle strength, fat-free mass and bone density? A twin study*. Am J Physiol, 270:E320-E327, 1996.
- Serrano AL.**, Murgia M., Pallafacchina G., Calabria E., Coniglio P., Lomo T., Schiaffino S. *Calcineurin controls nerve activity-dependent specification of slow skeletal muscle fibers but not muscle growth*. Proc Natl Acad Sci USA 98:13108–13113, 2001.
- Sheldon W.** *The Varieties of Human Physique: An Introduction to Constitutional Psychology*. New York: Harper, 1940.

- Shrier I.**, *Training and Male Teen Gymnasts' Development*. Physician & Sportsmedicine, 32:1-37,2004.
- Simons J.**, Beunen GP., Renson R., Claessens AL., Vanreusel B., Lefevre JAV. *Growth and fitness of Flemish girls*. Humane Kinetics, Champaign, III, 1990.
- Sineo Luca.** *Elementi di Antropologia Biologica*. In Chiarelli, Bigazzi, Sineo: Lineamenti di Antropologia per le Scienze Motorie. Piccin (Eds), pp 83-104; 2004
- Siri WE.** *Body volume measurements by gas dilution*; In Brozek J., Henschel A (eds): *Techniques for Measuring Body Composition*. Washington, National Academy of Sciences, National Research Council, pp 108-117, 1961a.
- Siri WE.** *Body composition from fluid spaces and density*. In Brozek J., Henschel A (eds): *Analysis of methods in Techniques for measuring body composition*. Washignton DC, National Academy of Sciences, 1961b.
- Slaughter MH.**, Lohman TG., Boileau RA., Riner WF. *Physique of college women athletes in five sports*; In Borms J., Hebbelinck M., Venerando A. (eds): *The female Athlete. Medicine and Sport*. Basel, Karger, Vol.15 pp 186-191, 1981.
- Slaughter MH.**, Lohman TG., Boileau RA., Horswill CA, Stillman RJ., Van Loan MD et al. *Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth*. Hum Biol, 5:709-723, 1988.
- Sonna LA.**, MA. Sharp, JJ. Knapik, M. Cullivan, KC. Angel, JF. Patton, and CM. Lilly. *Angiotensin-converting enzyme genotype and physical performance during US Army basic training*. J Appl Physiol 91: 1355–1363, 2001
- Staessen, JA.**, Ginocchio G., Wang JG., et al.,. *Genetic variability in the renin–angiotensin system: prevalence of alleles and genotypes*. J. Cardiovasc. Risk 4, 401–422, 1997.
- Stranger BE.**, Forrest MS., Dunning M., Ingle CE., Beazley C., Thorne N., Redon R. et al. *Relative Impact of Nucleotide and Copy Number Variation on Gene Expression Phenotypes*. Science, 315 ( 5813):848 – 853, 2007.
- Svantesson U.**, Zander M., Klingberg S., Slinde F. *Body composition in male elite athlete, comparison of bioelectrical impedance spectroscopy with dual Energy X-ray absorptiometry*. J of Negatives Results in BioMedicine, 7:1-16, 2008.
- Swan L.**, Birnie DH., Inglis G., Connell JM., Hillis WS. *The determination of carotid intima medial thickness in adults-a population-based twin study*. Atherosclerosis; 166(1):137-41, 2003.
- Takei, Y.**, Dunn, J.H., Blucker, E. *Techniques used in highscoring and low-scoring 'Roche' vaults performed by elite male gymnasts*. Journal of Sports Biomechanics 2 (2), 141–162, 2003.

- 
- Tanghe Y**, Claessens AL, Beunen G, et al: *Effect of gymnastic training on growth of bone length and bone width in girls*. First Annual Congress: Frontiers in Sport Science, Nice, May 28–31, pp 40–41; 1996.
- Tanriverdi H**, Evrengul H, Kaftan A, et al. *Effects of angiotensin-converting enzyme polymorphism on aortic elastic parameters in athletes*. Cardiology 104: 113-9; 2005.
- Taylor R.**, Mamotte CD., Fallon K. and FM van Bockxmeer. *Elite athletes and the gene for angiotensin-converting enzyme*. J. Appl. Physiol. 87:1035–1037, 1999.
- Tesh P. & Karlsson J.** *Muscle fiber type and size in trained and untrained muscle of elite athletes*. J Appl Physiol 59, 1716–1720, 1985.
- The International HapMap Consortium.** *The International HapMap Project*. Nature 426, 789-796; 2003.
- The International HapMap Consortium.** *Integrating Ethics and Science in the International HapMap Project*. Nature Reviews Genetics 5, 467 -475; 2004.
- The International HapMap Consortium.** *A Haplotype Map of the Human Genome*. Nature 437, 1299-1320; 2005.
- The International HapMap Consortium.** *A second generation human haplotype map of over 3.1 million SNPs*. Nature 449, 851-861; 2007.
- Theintz GE.**, Howald H., Allemann V., et al.: *Growth and pubertal development of young female gymnasts and swimmers: A correlation with parental data*. Int J Sport Med 10:87-91, 1989.
- Theintz GE.**, Howald H., Weiss U., et al.: *Evidence for a reduction of growth potential in adolescent female gymnasts*. J Pediatr 122:306-313, 1993.
- Theodoropoulou A.**, Markou KB., Vagenakis GA., Benardot D., Leglise M., Kourounis G., Vagenakis AG. And Georgopoulos A. *Delayed but Normally Progressed Puberty Is More Pronounced in Artistic Compared with Rhythmic Elite Gymnasts Due to the Intensity of Training*. The J of Clin Endoc & Metab, 90(11):6022-6027, 2005.
- Thomas F.**, Renaud F., Benefice E., De Meeus T., Guegan JF. *International variability of age at menarche and menopause: patterns and main determinants*. Hum Biol 73:271-290, 2001.
- Thomis MA.**, Huygens W., Heuninckx S., Chagnon M., Maes HM., Claessens AL., Vlietinck R., Bouchard C. and Beunen GP. *Exploration of myostatin polymorphisms and the angiotensin-converting enzyme insertion/deletion genotype in responses of human muscle to strength training*. Eur J Appl Physiol, 92: 267–274, 2004.



- Thorisson GA. and Stein LD.** *The SNP Consortium website: past, present and future.* Nucleic Acids Research, 31 (1): 124-127; 2003.
- Thorisson GA., Smith AV., Krishnan L, and Stein LD.** *The International HapMap Project Web site.* Genome Research, 15:1591-1593; 2005.
- Tunner JM.** *The physique of the olympic athlete.* London: Allen and Unwin, 1964.
- Tveit-Milligan P, Spindler AA, Nichols JE:** *Genes and gymnastics: A case study of triplets.* Sports Med Training Rehab, 4:47–52, 1993.
- Ulmann J.** *De la Gymnastique aux Sports Modernes.* Ed.: Vrin, Paris, 1977
- USA Gymnastics Stats of 2003.** USA Gymnastics Magazine, 33:42, 2003.
- Venter JC., Adams MD, Myers EW, Li PW, Mural RJ et al.** *The Sequence of the Human Genome.* Science, 291 (5507):1304-1351, 2001
- Vercruyssen M.** *Anthropometric profile of female gymnasts;* In Terauds J., Barthels K., Kreighbaum E., Mann R., Crakes J. (eds): Sports biomechanics. Del Mar, Research Center for Sports, pp 121-135, 1984.
- Vereeke west R.** *The female athlete: The triad of disordered eating, amenorrhea and osteoporosi.* Sports Med 26:63-71, 1988.
- Vincent B., De Bock,K., Ramaekers,M., Van den Eede,E., Van Leemputte,M., Hespel,PJ. and Thomis M.** *The ACTN3 (R577X) genotype is associated with fiber type distribution.* Physiol. Genomics, 19;32(1):58-63, 2007.
- Vona G.,** Massidda M., Cireddu M.I., Calò C.M. *Genetica e Performance Sportiva.* Italian Journal of Sport Sciences, 12 (2):105-115, 2005.
- Ward KA., Roberts SA., Adams JE., Mughal MZ.** *Bone geometry and density in the skeleton of pre-pubertal gymnasts and school children.* Bone, 36:1012-1018, 2005.
- Watts PS., Joubert LM., Lish AK., Mast JD, Wilkins B.** *Anthropometry of young competitive rock climbers.* Br J Sports 37:420-424, 2003.
- Weimann E., Blum WF., Witzel C., et al.:** *Hypoleptinemia in female and male elite gymnasts.* Eur J Invest, 29:853-860, 1999.
- Weimann E.,** *Gender-related differences in elite gymnasts: the female athlete triad.* J Appl Physiol: respiratory, environmental and exercise physiology, 92(5):2146-52, 2002.
- Weimann E., Witzel C., Schwidergall S., et al.:** *Peripubertal perturbations in elite gymnasts caused by sport-specific training regimes and inadequate nutritional intake.* Int J Sports Med 21:210-215, 2000.

- 
- Weiss JR.** *Gymnastics*. In Fu FH, Stone DA (eds): *Sport Injuries: Mechanism, Prevention, Treatment*. Baltimore, Williams & Wilkins, pp 383-396, 1994
- Whiters RT.,** Craig NP., Bourdon PC et al. *Relative body fat and anthropometric prediction of body density of male athletes*. Eur J Appl Physiol, 56:191-200, 1987.
- William H. Sheldon.** *The varieties of physique: An introduction to constitutional psychology* (New York: Harper & Brothers, 1940).
- Williams AG.,** Dhamrait SS., Wootton PT., Day SH., Hawe E., Payne JR., Myerson SG, World M., Budgett R., Humphries SE. & Montgomery HE. *Bradykinin receptor gene variant and human physical performance*. J Appl Physiol 96, 938–942, 2004.
- Wolfarth B.,** Rivera MA., Oppert JM. et al. *A polymorphism in the alpha2a-adrenoceptor gene and endurance athlete status*. Med. Sci. Sports Exerc. 32:1709–1712, 2000.
- Wolfarth B.,** Bray MS., Hagberg JM., Pérusse L., Rauramaa R., Rivera MA., Roth SM., Rankinen T., Bouchard C. *The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2004 update*. Med Sci Sports Exerc. 37(6):881-903, 2005.
- World Health Organization.** *Physical status: the use and interpretation of anthropometry*. Report of WHO Expert Committee. World Health Organ. Tech. Rep. Ser. 854:1-452, 1995.
- Woods D.,** Hickman M., Jamshidi DB., Vassiliou V., Jones A., Humphries S. and Montgomery H. *Elite swimmers and D allele of the ACE I/D polymorphism*. Hum Genet, 108:230-232, 2001.
- Yang N.,** Macarthur DG., Gulbin JP. et al. *ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance*. Am. J. Hum. Genet. 73:627–631, 2003.
- Yang N.,** MacArthur DG., Wolde B, Onywera VO., Boit MK., Lau SYM., Wilson RH., Scott RA., Pitsiladis YP. and North KN. *The ACTN3 R577X polymorphism in east and west African athletes*. Med Sc Sports Exerc, 39:1985-1988, 2007.
- Yannakoulia M.,** Keramopoulos A., Tsakalacos N. and Matalas AL. *Body composition in dancers: bioelectrical impedance method*. Med Sci Sport Exerc, 32(1):228-234, 2000.
- Yeadon MR.,** King M.A., Sprigings E.J. *Pre-flight characteristics of hecht vaults*. Journal of Sports Sciences 16, 349–356, 1998.
- Zaharieva E.,** Georgiev, N. and Techechmedgiev, R. *Recherches anthropométriques sur les gymnastes masculins et féminins des XVIIIe championnats du monde de Varna (Bulgarie) de 1974*. Cinesiologie, 18, 19-24, 1979.



- Zamparo P.**, Bonifazi M., Faina M., Milan A., Sardella F., Schena F., Capelli C. *Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers*. Eur J Appl Physiol, 94:697-704, 2005.
- Zanker CL.**, Gannon L., Cooke CB., Gee KL., Oldroyd B., Truscott JG. *Differences in bone density, body composition, physical activity and diet between child gymnasts and untrained children aged 7–8 years*. J Bone Miner Res 18:1043–1050, 2003.
- Zetaruk MN.** *The Young Gymnasts*. Clinics in Sports Medicine 19(4):757-780, 2000.
- Ziemilska A.** *Wpływ intensywnego treningu gimnastycznego na rozwój somatyczny i dojrzewanie dzieci (influence of intensive training in gymnastics on growth and sexual maturation of children)*. Warsaw: Akademia Wychowania Fizycznego; 1981.
- Ziemilska A.** *Effects of intensive gymnastics training on growth and maturation of children*. Biol. Sport. 2:279–293, 1985.
- Zonderland ML.**, Claessens AL., Lefevre J., et al.: *Delayed growth and decreased energy intake in female gymnasts*; In Armstrong N., Kirby B., Welsman J. (eds): Children and Exercise XIX. London, E. & FN. Spon, pp 533-536, 1997.
- Zoppi G.** *Physiology of pubertal maturation*. Pediatr. Med. Chir. 14:375–379, 1992.
- Zhang B.**, Tanaka H., Shono N., et al. *The I allele of the angiotensin-converting enzyme gene is associated with an increased percentage of slow-twitch type I fibers in human skeletal muscle*. Clin. Genet. 63: 139-144; 2003.
- Zhu X.**, Bouzekri N., Southam L., et al. *Linkage and association analysis of angiotensin I-converting enzyme (ACE)–gene polymorphisms with ACE concentration and blood pressure*. Am. J. Hum. Genet. 68, 1139–1148, 2001.